



# Návrh a realizace zařízení pro testování vodních filtrů textilního charakteru

## Diplomová práce

*Studijní program:* N3957 – Průmyslové inženýrství  
*Studijní obor:* 3901T073 – Produktové inženýrství  
*Autor práce:* **Bc. Petr Hornych**  
*Vedoucí práce:* Ing. Ondřej Novák, Ph.D.





TECHNICAL UNIVERSITY OF LIBEREC  
Faculty of Textile Engineering



# Design and implementation of equipment for testing of water filters of textile character

## Master thesis

*Study programme:* N3957 – Industrial Engineering  
*Study branch:* 3901T073 – Product Engineering

*Author:* **Bc. Petr Hornych**  
*Supervisor:* Ing. Ondřej Novák, Ph.D.



## ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Bc. Petr Horných**  
Osobní číslo: **T16000102**  
Studijní program: **N3957 Průmyslové inženýrství**  
Studijní obor: **Produktové inženýrství**  
Název tématu: **Návrh a realizace zařízení pro testování vodních filtrů textilního charakteru**  
Zadávající katedra: **Katedra hodnocení textilií**

### Z á s a d y   p r o   v y p r a c o v á n í :

- 1) Studujte typy filtrace, konstrukci filtrů a možnosti stanovení jejich parametrů.
- 2) Vyberte parametry hodnotící kvalitu jednotlivých filtrů.
- 3) Navrhněte koncepty zařízení pro jejich testování a vyberte nejvhodnější variantu.
- 4) Podrobně zpracujte návrh zařízení a zrealizujte jeho výrobu.
- 5) Ověřte funkčnost zařízení, případně proveďte potřebné modifikace pro jeho správnou funkčnost.

Rozsah grafických prací:

Rozsah pracovní zprávy: 50 - 60 stran

Forma zpracování diplomové práce: tištěná/elektronická

Seznam odborné literatury:

- 1) ČSN EN 12255-16. Filtrace odpadních vod. Praha: Český normalizační institut, 2006.
- 2) ČSN 11 9535. Stanovení charakteristik filtrace a jímatelnosti vícenásobným průtokem. Praha: Český normalizační institut, 1991.
- 3) CHEREMISINOFF, Nicholas P. Handbook of water and wastewater treatment technologies. Boston: Butterworth-Heinemann, c2002. ISBN 0-7506-7498-9.
- 4) JOHNSTON, Peter R. Fundamentals of fluid filtration: a technical primer. Littleton, CO: Tall Oaks Pub., c1990. ISBN 0-927188-01-5.

Vedoucí diplomové práce:

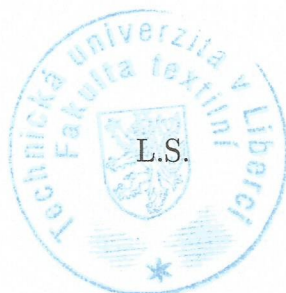
Ing. Ondřej Novák, Ph.D.


Katedra netkaných textilií a nanovláknenných materiálů

Datum zadání diplomové práce: 29. března 2017

Termín odevzdání diplomové práce: 4. května 2018

  
Ing. Jana Drašarová, Ph.D.  
děkanka



  
doc. Ing. Vladimír Bajžík, Ph.D.  
vedoucí katedry \_

V Liberci dne 28. března 2018

## Prohlášení

Byl jsem seznámen s tím, že na mou diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., o právu autorském, zejména § 60 – školní dílo.

Beru na vědomí, že Technická univerzita v Liberci (TUL) nezasahuje do mých autorských práv užitím mé diplomové práce pro vnitřní potřebu TUL.

Užiji-li diplomovou práci nebo poskytnu-li licenci k jejímu využití, jsem si vědom povinnosti informovat o této skutečnosti TUL; v tomto případě má TUL právo ode mne požadovat úhradu nákladů, které vynaložila na vytvoření díla, až do jejich skutečné výše.

Diplomovou práci jsem vypracoval samostatně s použitím uvedené literatury a na základě konzultací s vedoucím mé diplomové práce a konzultantem.

Současně čestně prohlašuji, že tištěná verze práce se shoduje s elektronickou verzí, vloženou do IS STAG.

Datum:

Podpis:

## **PODĚKOVÁNÍ**

Na tomto místě bych rád poděkoval vedoucímu mé diplomové práce panu Ing. Ondřejovi Novákovi, Ph.D., z Katedry netkaných textilií TU Liberec, za poskytnutý čas a připomínky. Dále mé poděkování patří firmě Alfico s.r.o. za poskytnuté filtrační komponenty, doc. Ing. Michalovi Petrů, Ph.D. a Ing. Pavlovi Jandurovi, z Katedry částí a mechanismů strojů, za konzultace a pomoc při řešení konstrukčních problémů spojených s návrhem filtrační tratě. Děkuji také řadě dalším pracovníkům TU Liberec, kteří se na realizaci filtrační tratě podíleli.

## **ANOTACE**

Diplomová práce se zabývá návrhem a následnou realizací filtrační tratě pro testování vodních filtrů textilního charakteru. Práce obsahuje výběr a následnou konstrukci nejvhodnějšího návrhu. Tento návrh je poté realizován formou sestavení filtrační tratě. V závěru práce je filtrační trať testována pro ověření její funkčnosti.

## **ANNOTATION**

The diploma thesis deals with the proposal and subsequent realization of filtration line for testing of water filters which have textile character. The work contains the selection and design of the most suitable proposal. This proposal is implemented by compilation of filtration line. Finally, the filtration line is tested to verify its functionality.

## **KLÍČOVÁ SLOVA**

filtrace, filtrační trať, testování, vodní filtry

## **KEY WORDS**

filtration, filtration line, testing, water filters

## OBSAH

1. ÚVOD A CÍL PRÁCE .....	8
2. REŠERŠNÍ ČÁST .....	10
2.1. Filtrace .....	10
2.1.1. Mechanismy filtrace .....	11
2.1.2. Konstrukce filtrů .....	14
2.1.3. Filtrační materiály .....	19
2.1.4. Metody testování materiálů pro kapalinovou filtraci .....	19
3. EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST .....	22
3.1 Návrhy konceptů filtrační tratě .....	23
3.2 Výběr nejvhodnějšího konceptu .....	26
3.3 Konstrukční návrh .....	29
3.4 Realizace návrhu .....	42
3.5 Ověřování zařízení .....	46
4. DISKUZE .....	63
5. ZÁVĚR .....	65
6. LITERATURA .....	66
7. SEZNAM PŘÍLOH .....	68
8. SEZNAM OBRÁZKŮ .....	69
9. SEZNAM TABULEK .....	71



## **1. ÚVOD A CÍL PRÁCE**

Cílem této práce je návrh a následná realizace zařízení pro testování vodních filtrů textilního charakteru s možností simulování podmínek, ve kterých bude následně filtr aplikován.

Rešeršní část obsahuje popis mechanismů filtrace, možné konstrukční varianty filtrů a přehled norem zabývajících se testováním filtrace.

V experimentální části jsou na základě poznatků z rešeršní části práce stanoveny základní technické parametry pro filtrační trať. Tyto parametry jsou následně zpracovány v dalším bodě, kdy je vytvořen návrh filtrační trati včetně stanovení hlavních součástí. Cílem je využití unifikovaných dílů pro dodržení jednoduchosti výroby a snadného následného provozu či možnosti budoucích modifikací. Následně je provedena realizace, tzn. postavení filtrační tratě a její zapojení.

V závěru experimentální části je trať otestována v celém pracovním rozsahu pro zjištění limitních hodnot, čímž je ověřena její funkčnost.

## POUŽITÉ ZKRATKY A VÝRAZY

°C	stupeň Celsia, jednotka teploty
μm	mikrometr, jednotka rozměru
AC	zkratka střídavého proudu
ALU	aluminium, zkratka použití hliníku
bar	bar, jednotka tlaku
cm	centimetr, jednotka délky
cm <sup>3</sup>	centimetr krychlový, jednotka objemu
ČSN	označení českých technických norem
DIN	označení německých norem (Deutsches Institut für Normung)
DN	označení pro rozměr potrubí (Diametre Nominal)
Hz	Hertz, jednotka frekvence
kB	kilobyte, jednotka množství dat
kg	kilogram, jednotka hmotnosti
ks	zkratka slova kus/kusy
l.min <sup>-1</sup>	litr za minutu, jednotka průtoku
l.s <sup>-1</sup>	litr za sekundu, jednotka průtoku
m	metr, jednotka délky
m <sup>3</sup>	metr krychlový, jednotka objemu
MB	megabyte, jednotka množství dat
mm	milimetr, jednotka délky
MPa	megapascal, jednotka tlaku
ms	milisekunda, jednotka času
PN	jmenovitý tlak (Pressure Nominal)
PP	polypropylen
PTFE	polytetrafluorethylen = teflon
TUL	Technická univerzita v Liberci
V	Volt, jednotka napětí

## 2. REŠERŠNÍ ČÁST

Rešeršní část se zabývá typy filtrace, mechanismy filtrace a konstrukčním řešením filtrů. Součástí rešerše je také studium příslušných norem pro filtraci kapalin.

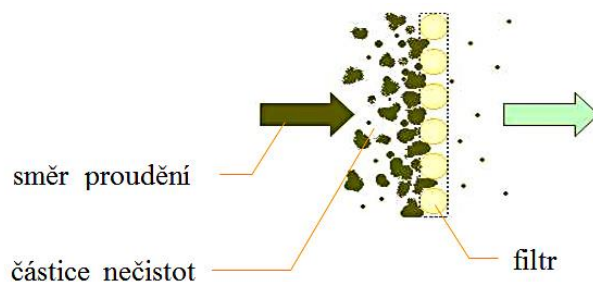
### 2.1. Filtrace

Filtrace je separační proces, při kterém se zachytávají částice z disperzního prostředí. Disperzní prostředí je ve formě plynu či kapaliny. Filtraci je možné dělit dle filtrovaného média, typu filtrace, velikosti částic a mechanismu filtrace. Samotná filtrace je ovlivněna řadou faktorů. Použitým filtračním materiálem majícím vliv na velikost pórů, konstrukcí filtru určující jeho funkční plochu a dále mechanismem samotné filtrace. Všechny parametry budou detailně probrány v následujících kapitolách.

Hlavní rozdělení filtrace je dle jejího typu. Dělíme ji na filtraci povrchovou a hloubkovou.

*Povrchová filtrace:*

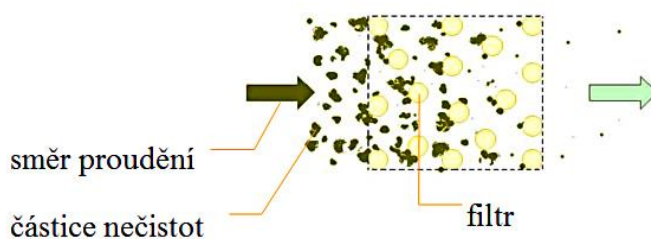
U povrchové filtrace se částice zachytávají na povrchu filtru, který má velikost pórů menší, než je velikost zachytávaných částic. Výhodou je snadné definování vlastností filtru právě určením velikosti jeho pórů. Během provozu se však filtr postupně zanáší a znatelně tak mění svoje parametry. Zvyšuje se jeho účinnost, avšak na úkor tlakového spádu, který se také zvyšuje. Na rozdíl od účinnosti je ale zvyšování tlakového spádu nežádoucí. Při velkém zanešení filtru dochází k velkému tlakovému zatížení celého filtru a zároveň ke zvětšení pórů, protože působící tlak filtr mechanicky namáhá. To může vést až k jeho destrukci ve formě protržení. V této situaci nejen že přestane filtr fungovat, ale zároveň dojde k hromadnému uvolnění částic, které byly již v minulosti filtrem zachyceny. Výhodou těchto filtrů je ale možnost jejich regenerace včasným čištěním ve formě odstranění tzv. filtračního koláče, který se vytváří na povrchu filtru.



Obrázek 1- schéma povrchové filtrace [1]

### *Hloubková filtrace:*

Druhým typem je filtrace hloubková. Filtry pro hloubkovou filtraci mají větší tloušťku. Na rozdíl od povrchové filtrace zde částice pronikají do filtru. Ten obsahuje velké množství pórů. Jsou zde obsaženy jak póry průchozí, tak neprůchozí. Povrch pórů je velmi členitý. Díky tomu je možné zachytávat částice menší, než je velikost pórů. Vlivem postupného zanášení filtru během jeho provozu vznikají shluky částic, které tvoří tzv. dendrity [1]. Ty napomáhají k ještě členitějšímu povrchu a zachycují částice i na sobě. I přes vznik nových dendritů filtr pro hloubkovou filtraci během svého provozu své vlastnosti výrazně nemění a také není tak citlivý na zanešení. Není zde možnost snadné regenerace jako u povrchových filtrů, a proto tedy musí být nakonec po jeho zanešení vyměněn za nový.



*Obrázek 2 - schéma hloubkové filtrace [1]*

#### **2.1.1. Mechanismy filtrace**

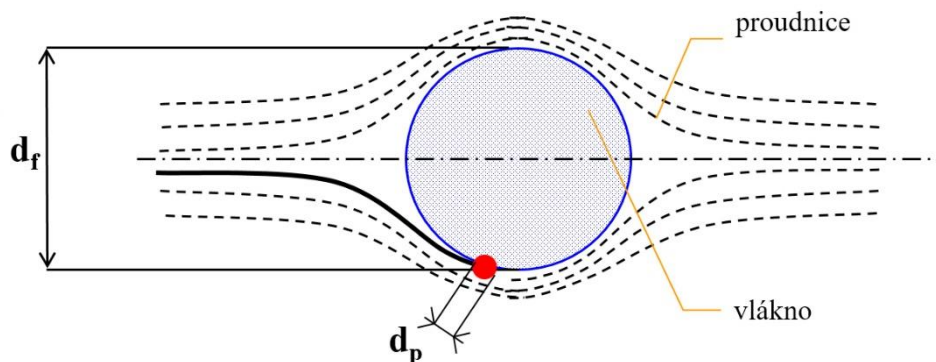
Mechanismus filtrace je způsob zachycení částice na filtr. Uvedené mechanismy filtrace jsou určeny pro záchyt částic menších než samotné průměry vláken filtru.

##### *Přímý záchyt*

Částice jsou unášeny prouděním po trajektorii proudnic (proudnice je trajektorie pohybu jednotlivých částic v proudění kapalin). Částice je zachycena pouze v případě, že je proudnice v kontaktu s filtračním vláknem. Pokud tomu tak není, částice vlákno obletí a není zachycena. Parametr záchytu lze definovat vztahem:

$$Nr = \frac{d_p}{d_f} \quad (1)$$

kde  $Nr$  je parametr záchytu,  $d_p$  je velikost částice a  $d_f$  velikost vlákna. [1] Výsledný parametr záchytu je bezrozměrný. Při výpočtu je třeba zadat shodné rozměrové jednotky.



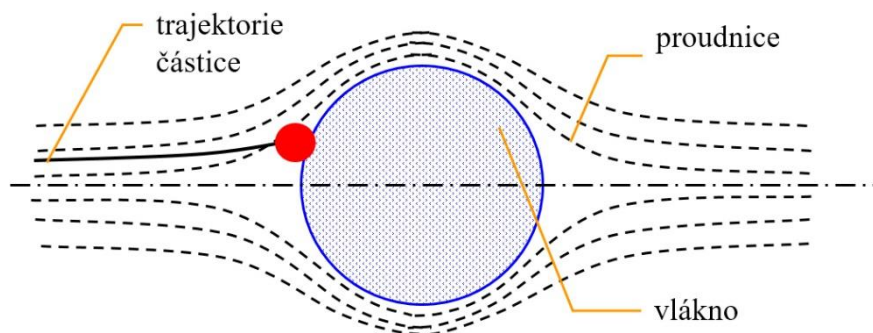
Obrázek 3 - schéma přímého záchytu [1]

#### Setrvačný záchyt

Mechanismu setrvačného záchytu se využívá při filtrování hmotnějších částic. Částice setrvačností opustí proudnici a zachytí se na vlákně filtru. Intenzitu setrvačnosti částice lze určit vztahem:

$$St = \frac{d_p^2 \cdot \rho \cdot U}{18 \cdot \eta \cdot d_f} \quad (2)$$

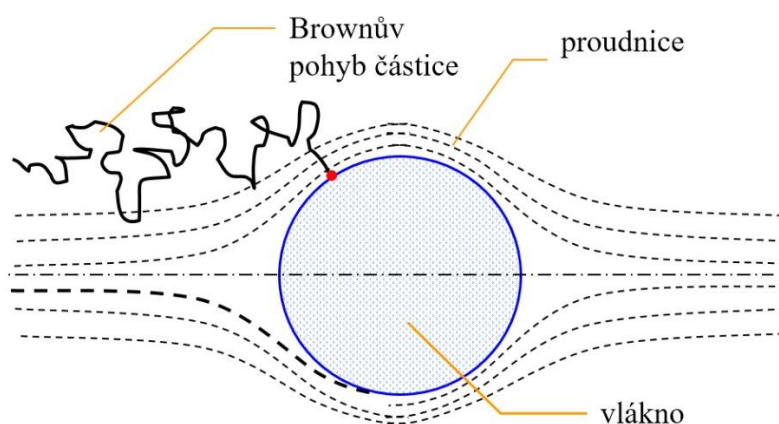
kde  $St$  je Stokesovo číslo,  $d_p$  je velikost částice,  $\rho$  je hustota částice,  $U$  je rychlost proudění,  $\eta$  je viskozita proudícího média a  $d_f$  velikost vlákna. Stokesovo číslo je bezrozměrným parametrem. [1]



Obrázek 4 - schéma setrvačného záchytu [1]

### *Difúzní záchyt*

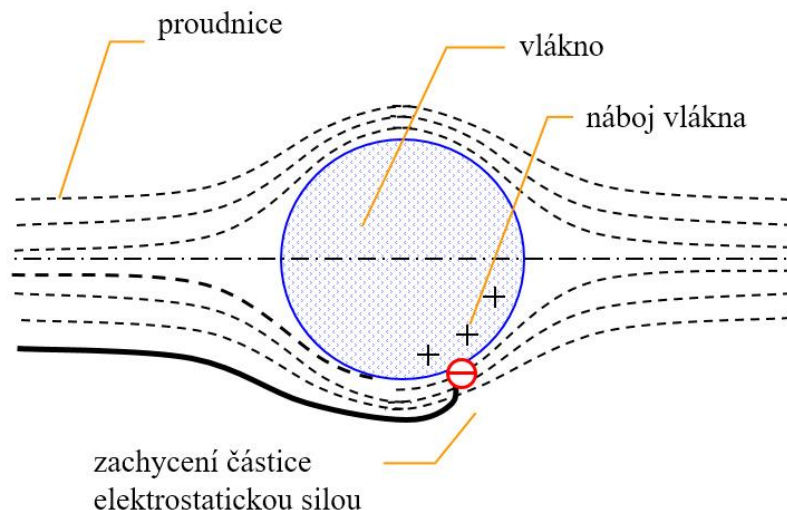
Mechanismu difúzního záchytu je využíváno při filtrování částic menších než 200 nm. Částice jsou sice unášeny prouděním, ale nedrží si trajektorie dle proudnic. Řídí se tzv. Brownovým pohybem, což je náhodný pohyb mikroskopických částic v tekutinách. Částice se neustále srážejí. Směry těchto srážek jsou náhodné a okamžitá poloha částice je také náhodná. Čím menší bude mít částice dopřednou rychlost, tím větší bude šance k jejímu zachycení na povrchu filtračního vlákna.



*Obrázek 5 - schéma difúzního záchytu [1]*

### *Elektrostatický záchyt*

Při zachytávání malých částic je možné využít rozdílného náboje částice a filtru. U nenabitých částic dochází k tvorbě dipólu. Dipól obsahuje stejné množství kladných i záporných částic, které nejsou stejnoměrně rozmístěny. Kladné částice se kumulují na jedné straně dipólu a záporné částice na straně opačné. Díky tomuto efektu je pak možné i nenabitou částici zachytit pomocí elektrostatického záchytu.



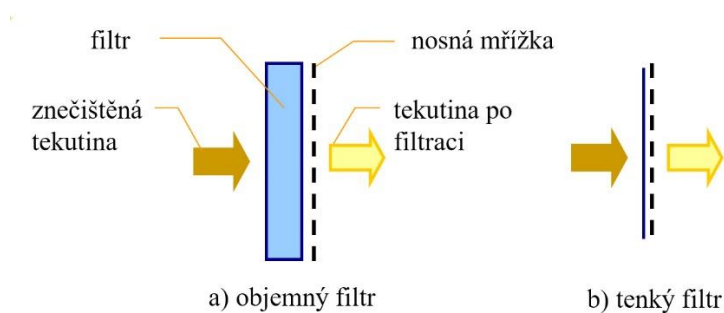
Obrázek 6 - schéma elektrostatického záchytu [1]

### 2.1.2. Konstrukce filtrů

Konstrukci filtrů je možné řadit do několika kategorií. Liší se dle použití, zástavbových rozměrů či možnosti čištění filtru. Filtr může obsahovat nosné prvky ve formě rámečků, trubek či vík pro dosažení mechanické pevnosti a jednoduchosti z hlediska montáže. Jeho součástí je obvykle také těsnění v místě uložení filtru, aby částice nemohly proniknout okolo filtru.

#### *Ploché filtry*

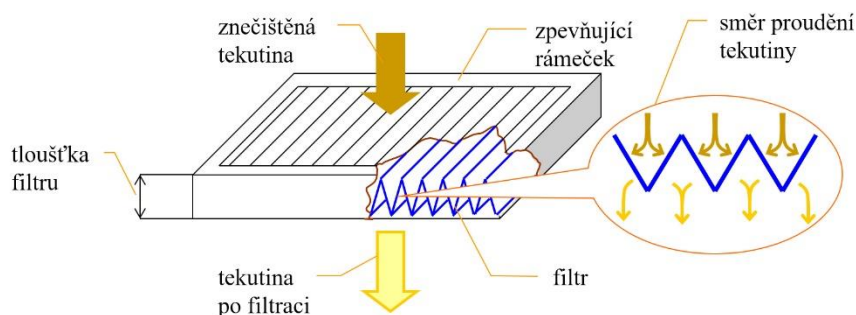
Jsou nejjednodušším typem filtru. Mohou být tenké, nebo objemné dle použitého filtračního materiálu. Mají malou funkční plochu a jejich hlavní nevýhodou je špatný poměr efektivity k tlakovému spádu, tzn. velký tlakový spád v případě vysokých požadavků na filtraci. Jejich využití je zejména u hrubé filtrace, předfiltrace a pro filtry s nižším požadavkem efektivity. Výhodou je možná absence nosných rámečků či mřížek, ale pouze při nízkých provozních tlacích.



Obrázek 7 – schéma plochých filtrů [1]

### Skládané filtry

Vycházejí z filtrů plochých, avšak jsou skládané do tzv. „harmoniky“. Výhodou této konstrukce je rapidní nárůst filtrační plochy oproti filtrům plochým a s tím spojené snížení tlakového spádu (až 20x) při mírném vzrůstu účinnosti. Tloušťka filtru může dosahovat hodnot 5 cm. K výrobě je třeba skládací zařízení a použití nosných rámečků.

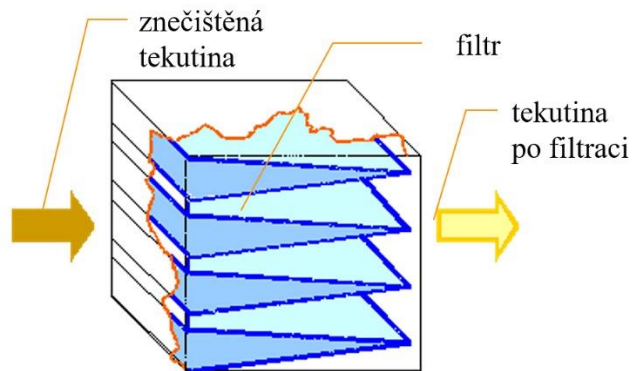


Obrázek 8 – schéma skládaného filtru [1]

### Kapsové filtry

Kapsové filtry jsou větších rozměrů, principiálně shodné s filtry skládanými. Mají velký povrch. Sklady se tvoří ručně, jejich výroba je nákladná. Použitelné pouze pro textilní filtrační materiál. Aplikace nejčastěji do zařízení pro ventilaci budov.

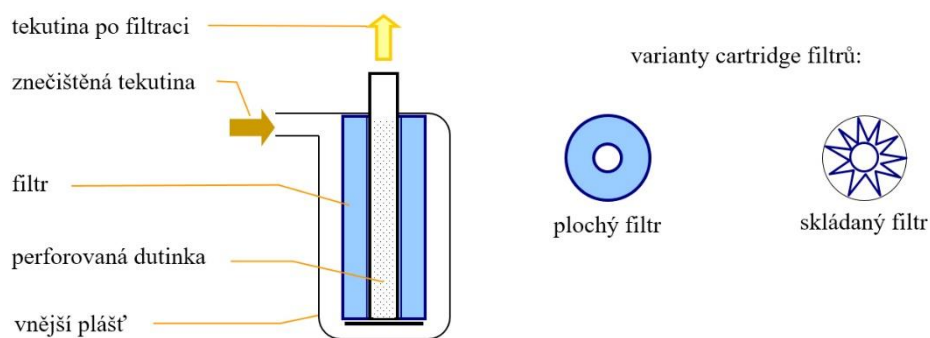




Obrázek 9 – schéma kapsového filtru [1]

### Svíčkové filtry

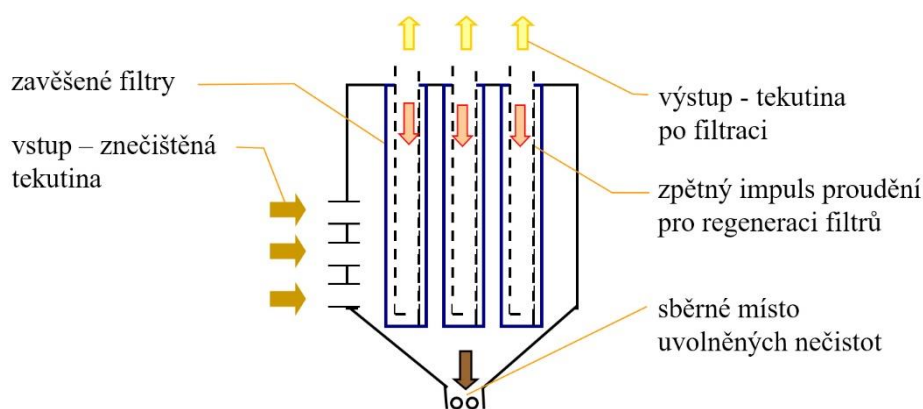
Svíčkové filtry alias cartridge se skládají z vnitřní perforované dutinky, na které je navinut filtrační materiál v dostatečné vrstvě. Výrobu je možné kombinovat pro získání vyššího povrchu technologií skládání a navíjení. [1]. Vynikají zejména svojí kompaktností a mechanickou odolností proti poškození. Tekutina proudí z vnějšku přes filtrační materiál skrz dutinku, která má výstup v její ose. Nedochází tak k poškození filtru vlivem vysokého tlaku, protože dutinka pevně podpírá filtrační materiál. Tato konstrukční výhoda určuje použití filtrů zejména na filtraci kapalin, kde systém často pracuje s vyššími tlaky.



Obrázek 10 - schéma cartridge filtru [1]

### *Hadicové filtry*

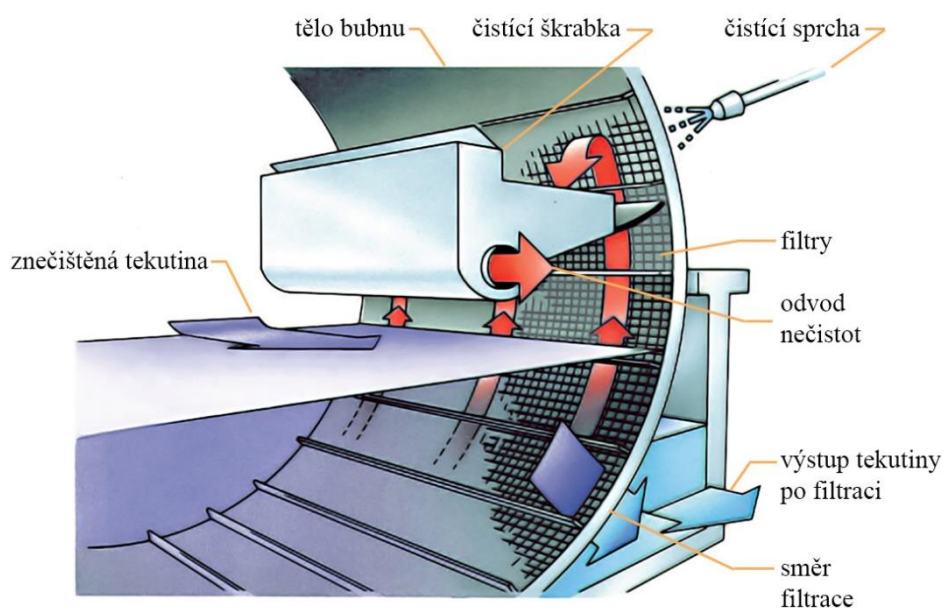
Fungují na principu povrchové filtrace. Mají velké dispoziční nároky. Délka filtrů je 3-6 metrů. Filtry jsou vždy použité v sestavě – využívá se tedy hned několik filtrů najednou. Jsou vertikálně zavěšeny na nosné mříži. Jejich výhodou je opakovatelná regenerace, které se dosáhne rychlou změnou proudění v opačném směru. Doba změny směru je od 0,1 s do 100 s [1]. Uvolněné shluky částic z filtru jsou zachytávány na sběrné místo. Filtry jsou mechanicky, termicky a často také chemicky namáhány. Vlivem tohoto namáhání může dojít ke zkrácení životnosti filtru a jeho protržení. Využívají se v průmyslu, spalovnách, elektrárnách či cementárnách pro filtraci vzdušnin.



Obrázek 11 - schéma hadicových filtrů [1; 2]

### *Bubnové filtry*

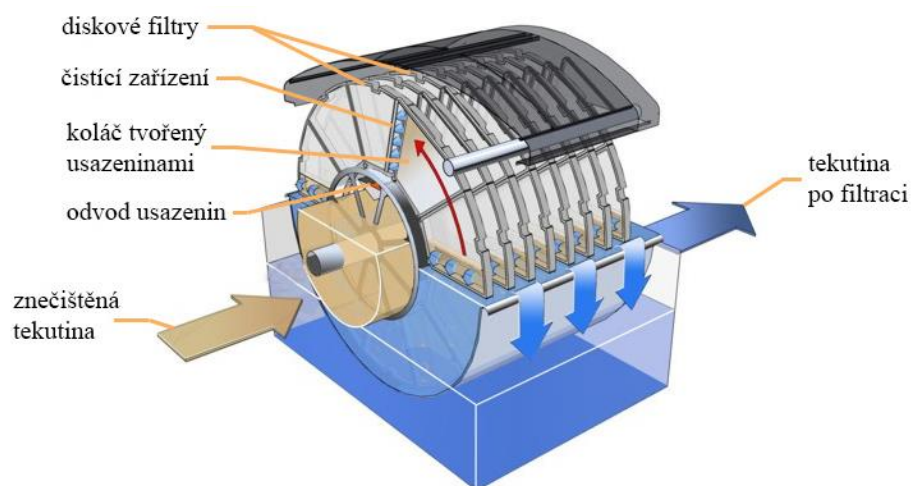
Filtry jsou určeny pro velké objemy. Vyrábí se jako komplexní filtrační jednotka. Na povrchu rotačního bubnu jsou umístěny filtry. Čistící jednotka bubnu je stacionární a buben je rotační. Výhodou je jejich dlouhodobá regenerace opakovaným odstraňováním usazenin z povrchu filtru pomocí škrabky a následného odsátí uvolněné usazeniny. Vyrábí se ve dvou koncepčních variantách: buď proudí médium z vnějšku dovnitř bubnu, nebo naopak. Nevýhodou je jejich malá účinnost. Bubnové filtry se využívají pro velké objemy, převážně vodní díla.



Obrázek 12 - schéma bubnového filtru [3]

### *Diskové filtry*

Diskové filtry se používají v sestavě. Jsou rozměrově podobné filtrům bubnovým. Výhodou je jejich velká filtrační plocha složená z několika disků umístěných za sebou. Disk je konstrukčně zhotoven tak, že je na jeho obou čelech umístěn filtrační materiál. Disk rotuje, tekutina je přiváděna středem osy rotujících disků a následně vtéká do jednotlivých disků, kde je přefiltrována a odvedena od filtru. Nečistoty jsou zadrženy na vnitřních stěnách disků povrchovou filtrací. Zařízení dále obsahuje vodní sprchy, které jsou umístěny v horní části zařízení viz obrázek 13 „čistící zařízení“. Proudem vody na filtr je zachycená nečistota uvolněna a zachycena k jejímu odvodu pomocí pásových dopravníků. Stejně jako u filtrů bubnových se i zde používají dvě varianty směru průtoku tekutiny. [4]



Obrázek 13 - schéma diskového filtru [4]

### 2.1.3. Filtrační materiály

Filtrační materiály lze dělit na materiály textilní a materiály jiného charakteru. V případě filtrování kapalin to mohou být: vodárenský křemičitý písek, aktivní uhlí, birm, filtralite a další materiály ve formě granulátu či sypké směsi. [5]

Z textilních materiálů se nejčastěji používají polypropylen, skelná vlákna, polyamid, polyvinylalkohol, polyuretan, či bavlněná vlákna. Využívanými technologiemi pro tvorbu plošné filtrační textilie jsou tkaní, vpichování, melt-blown, wetlaid nebo v případě nanovláken technologie nanospider.

### 2.1.4. Metody testování materiálů pro kapalinovou filtraci

Způsoby mechanické filtrace pro kapaliny lze popsat evropskou normou ČSN EN 12255-16 Filtrace odpadních vod [2]. Norma obsahuje metodu testování zrnitých filtračních materiálů, tak i materiálů z plošných textilií.

*Zrnitý filtrační materiál:*

„Filtrované odpadní vody protékají rychle filtračním ložem (materiálem) vzestupně nebo sestupně, přičemž se uvnitř lože zadržují nerozpuštěné látky. U sestupného průtoku filtrů s mělkým filtračním ložem se nerozpuštěné látky zachycují převážně na povrchu.“<sup>1</sup>

<sup>1</sup> ČSN EN 12255-16. *Filtrace odpadních vod*. Praha: Český normalizační institut, 2006.

### *Mikro síta a plošné textilie:*

„Mikro síta a bubnové filtry jsou válce zakryté sítím nebo tkaninou, otáčející se vodorovně kolem své podélné osy. Válec je ponořen do nádrže, do které se přivádí filtrované odpadní vody. Bubnové filtry jsou částečně nebo zcela ponořeny do filtrovaných odpadních vod, zatímco válec mikro síta je ponořen přibližně do dvou třetin průměru válce. U bubnového filtru protékají odpadní vody z vnějšku válce dovnitř“.<sup>2</sup>

Norma stanovuje zásady navrhování a funkční požadavky pro mechanickou filtraci odpadních vod. V případě filtrace na průmyslové úrovni je vhodné vycházet i z dalších norem.

Vhodnou normou popisující postup a metodu testování je norma ČSN 11 9535 Stanovení charakteristik filtrace a jímатelnosti vícenásobným průtokem. „Tato norma platí pro filtrační prvky používané ve filtrech hydrostatických mechanismů, ve kterých se používají minerální oleje nebo jiné kapaliny s podobnými vlastnostmi a stanoví metodu určení charakteristik filtrace a jímатelnosti vícenásobným průtokem při kontinuálním dávkování nečistot“. [6]

Zkušební zařízení dle normy ČSN 11 9535 je vybaveno dávkovacím zařízením nečistot, zařízením pro odběr vzorků filtrovaného média a soustavou umožňující cirkulaci kapaliny.

Zkoušený filtrační prvek je umístěn do tělesa filtru a nastaví se jmenovitý průtok. Měří se počáteční tlakový spád na čistém filtračním prvku uloženého v tělese filtru. Poté se spustí dávkovací zařízení nečistot. Během testu se odebírají vzorky před a za filtrem. Doba odběru vzorků musí být vždy stejná. Vzorky se odebírají při tlakovém spádu rovném 10, 20, 40 a 80 %. Během zkoušky se měří a zapisují hodnoty průtoku. Po dosažení 80 % tlakového spádu dojde k zastavení zkoušky. Posléze se analyzují odebrané vzorky na množství částic v objemu 1 cm<sup>3</sup>. [6] Následuje celkové vyhodnocení zkoušky, které je možno psát do tabulky viz Tabulka 1.

---

<sup>2</sup> ČSN EN 12255-16. *Filtrace odpadních vod*. Praha: Český normalizační institut, 2006.

Tabulka 1 - Zápis výsledků zkoušek dle ČSN 11 9535 [6]

Datum zkoušky.....		Místo zkoušky.....		
Označení filtračního prvku.....		Průtok kapaliny.....		
Tlakové spády [Mpa]:				
Konečný tlakový spád na filtračním prvku .....				
Počáteční tlakový spád tělesa s filtračním prvkem.....				
Počáteční tlakový spád tělesa.....				
Počáteční tlakový spád filtračního prvku.....				
Rozdíl mezi konečným a počátečním tlakovým spádem filtračního prvku.....				
Rozdíl mezi konečným a počátečním tlakovým spádem filtračního prvku	10 %	20 %	40 %	80 %
Počáteční tlakový spád tělesa s filtračním prvkem [Mpa]				
Čas [min]				
Těsnost filtračního prvku: .....				
Počáteční čistota soustavy..... (počet částic větších než ... $\mu\text{m}$ v $1\text{cm}^3$ )				
Údaje o znečištěné kapalině	Počáteční		Konečné	
Průtok kapaliny dávkovací soustavy [l/min]				
Hmotnostní koncentrace nečistot [mg/l]				

### **3. EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST**

V experimentální části jsou obsaženy návrhy konceptů, shrnutí pozitiv a negativ každé varianty a následně výběr nejvhodnějšího návrhu, který je detailně zpracován tak, aby splňoval všechny požadavky filtrační tratě.

#### **Parametry hodnotící kvalitu jednotlivých filtrů:**

V rešeršní části byly popsány mechanismy filtrace, typy filtrů a také možné metodiky jejich testování. Pro určení kvality či hodnocení daného filtru je třeba znát zejména charakteristiky: průtoku, tlakového spádu na filtru, celkového tlaku v oblasti použití filtru, dosahovaných teplot a na závěr efektivitu filtru. Efektivita filtru je hodnocena na základě zjištění hmotnosti filtru před testem a po testu. Nutno dodržet během zjišťování hmotnosti filtru shodné klimatické podmínky a kvalitní vysušení filtru.

#### **Základní požadavky pro konstrukci filtrační tratě:**

- regulace průtoku
- maximální hodnota průtoku  $600 \text{ l.m}^{-1}$
- připojení na těleso cartridge filtru
- možnost následné modifikace pro jiný typ připojení testovaného filtru
- dávkování nečistot různého druhu a množství
- měření tlakového spádu
- ohřev kapaliny (max. teplota kapaliny  $70 \text{ }^{\circ}\text{C}$ )
- maximální tlak v oblasti filtru až 10 bar

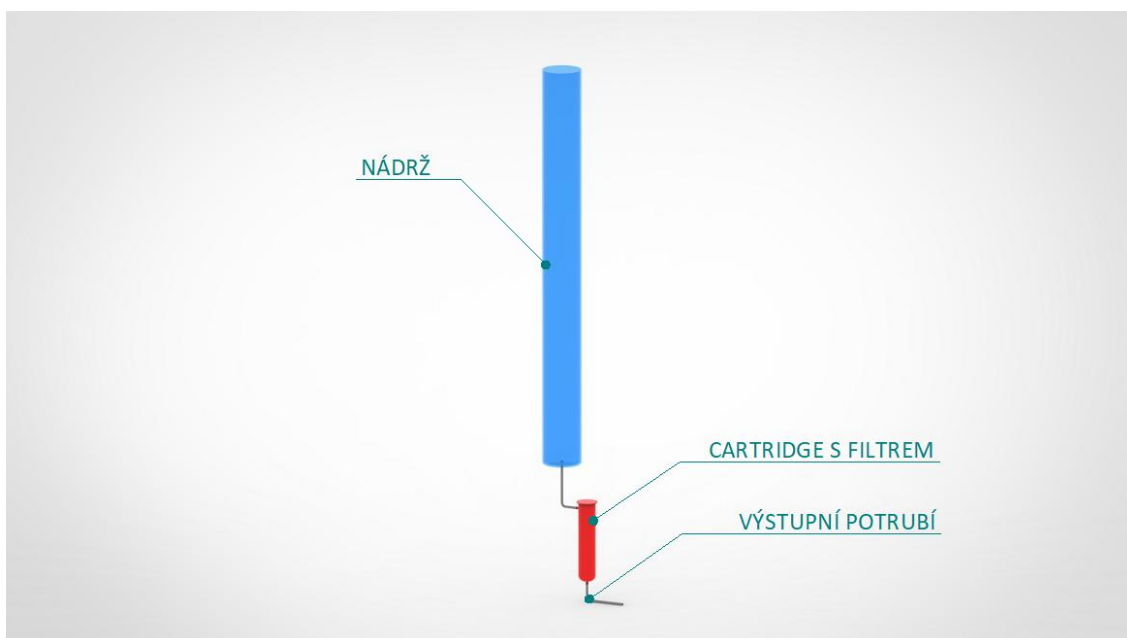
Tyto požadavky vycházejí z parametrů hodnotících kvalitu filtrů. Jsou tedy první definicí pro následný návrh filtrační tratě.

### 3.1 Návrhy konceptů

Důležitou součástí celé práce je právě návrh konceptů. Je zde popsáno pět konstrukčních řešení, které využívají pokaždé jiný způsob konstrukce. To se také promítne do výhod a nevýhod jednotlivých konceptů, které později rozhodnou o nejvhodnější konstrukční variantě vhodné k detailnímu návrhu.

#### a) Gravitační způsob

První možností je využití gravitační síly. Nádrž o dostatečné výšce a pod nádrží umístěn cartridge s filtrem. Nádrž musí být koncipována tak, aby měla mnohem vyšší výšku než šířku či průměr. Pak lze využít hydrostatického tlaku, který zajistí požadovaný průtok.



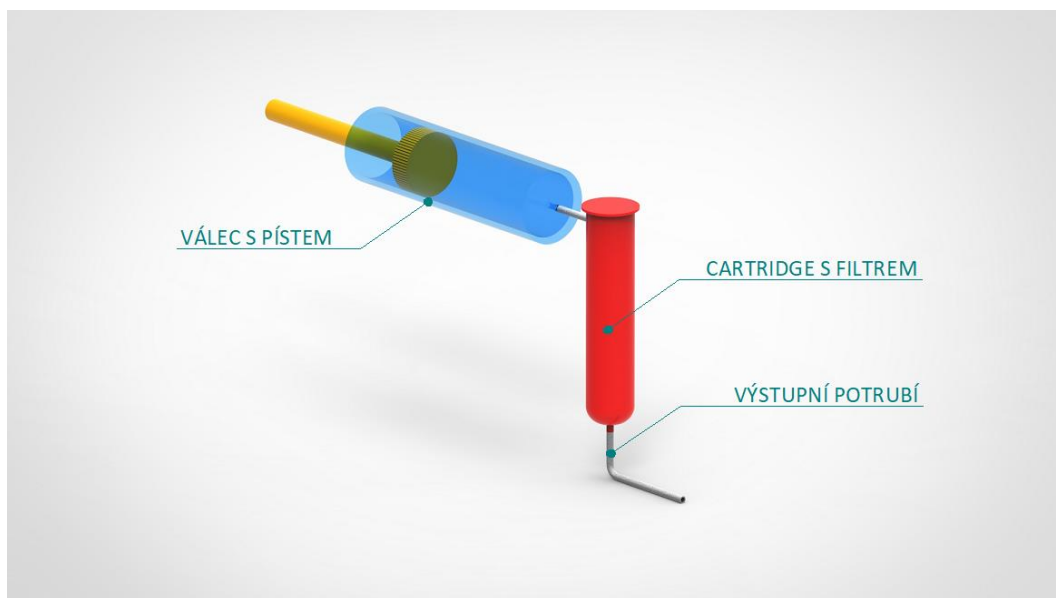
Obrázek 14 - schéma gravitačního způsobu

Tento způsob je konstrukčně nejjednodušší. Využívá pouze hydrostatického tlaku bez nutnosti dalšího pohonu. Jeho nevýhodou je však vysoký požadavek na zástavbové rozměry a dále fakt, že se hydrostatický tlak bude se snižující se výškou vodního sloupce během zkoušky také zmenšovat. V důsledku toho bude docházet ke zmenšení průtoku v závislosti na výšce hladiny během zkoušky. Řešením by bylo udržování konstantního vodního sloupce, což by zajistilo neměnný průtok. Problém je s využitím již prošlé odpadní vody.



## b) Tlačení pístem

Tato varianta se vyznačuje jednoduchou konstrukcí, která využívá k dosažení průtoku pohybu pístu, který tlačí kapalinu přes testovací ústrojí. Pohon pístu může být řešen pneumaticky, či hydraulicky. Nevýhodou tlačení pístem je diskontinuální proces, kdy se musí vždy válec před opětovným testováním naplnit kapalinou.

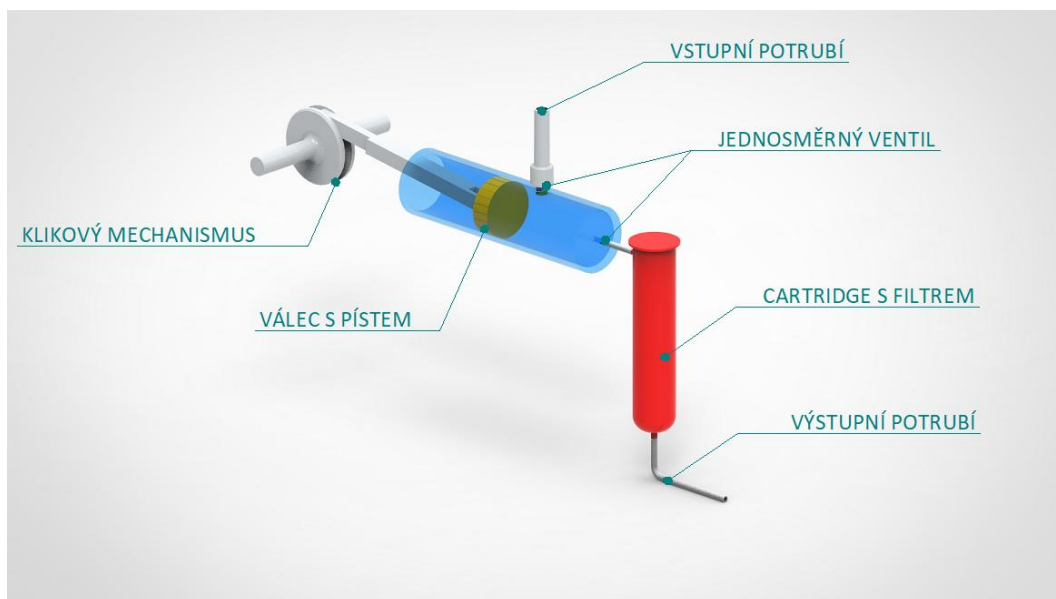


*Obrázek 15 - schéma tlačení pístem*

Také doba trvání zkoušky je závislá na objemu válce. Naopak je zde dobře regulovatelný průtok pomocí rychlosti pístu.

## c) Tlačení pístem za použití klikového mechanismu

Varianta s použitím klikového mechanismu vychází z předchozího systému tlačení pístem, ale píst je zde poháněn pomocí klikového mechanismu. Díky tomu dochází k rychlému přesunu pístu z dolní úvratě do úvratě horní. Během vratného pohybu do dolní úvratě dochází k doplnění kapaliny do válce vstupním potrubím, které je osazeno jednosměrným ventilem. Oproti předchozí variantě je zde myšlen válec s menším objemem, protože je zde předpoklad několika desítek pracovních cyklů během jedné minuty.

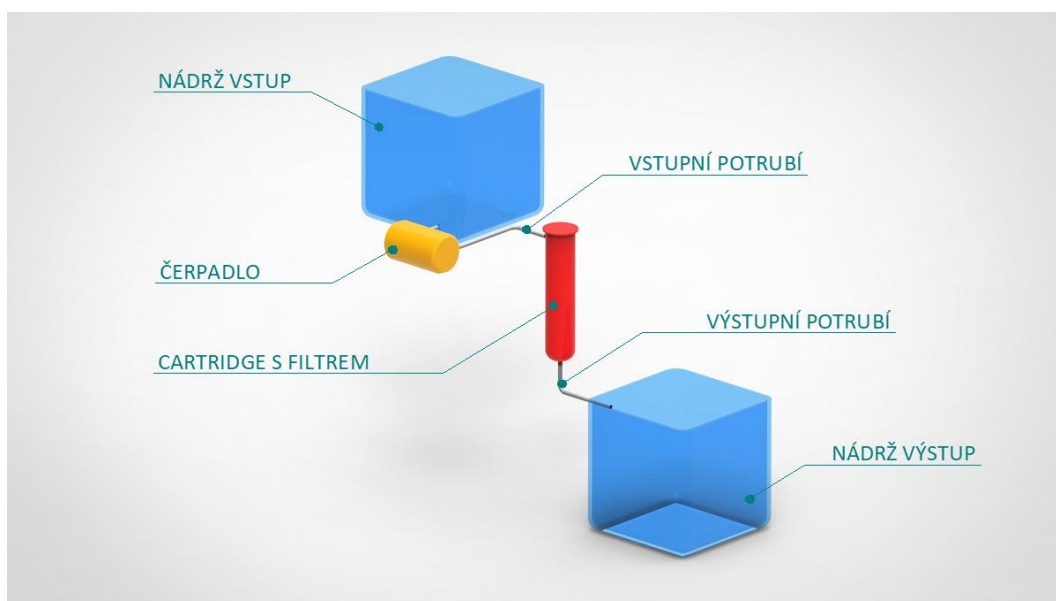


Obrázek 16 - schéma tlačení pístem za použití klikového mechanismu

Je třeba zajistit dostatečné zásobování pracovního válce kapalinou. Nedochází zde ke konstantnímu průtoku kapaliny, ale k tzv. pulzaci. Možnou alternativou je využití systému dvojčinných čerpadel, která čerpají kapalinu při pohybu pístem oběma směry.

#### d) Dvě nádrže s čerpadlem

Použití dostatečně výkonného čerpadla splňujícího požadavky průtoku umožní konstantní hodnotu průtoku během zkoušky. Tento koncept je navržen se dvěma nádržemi: vstupní a výstupní.

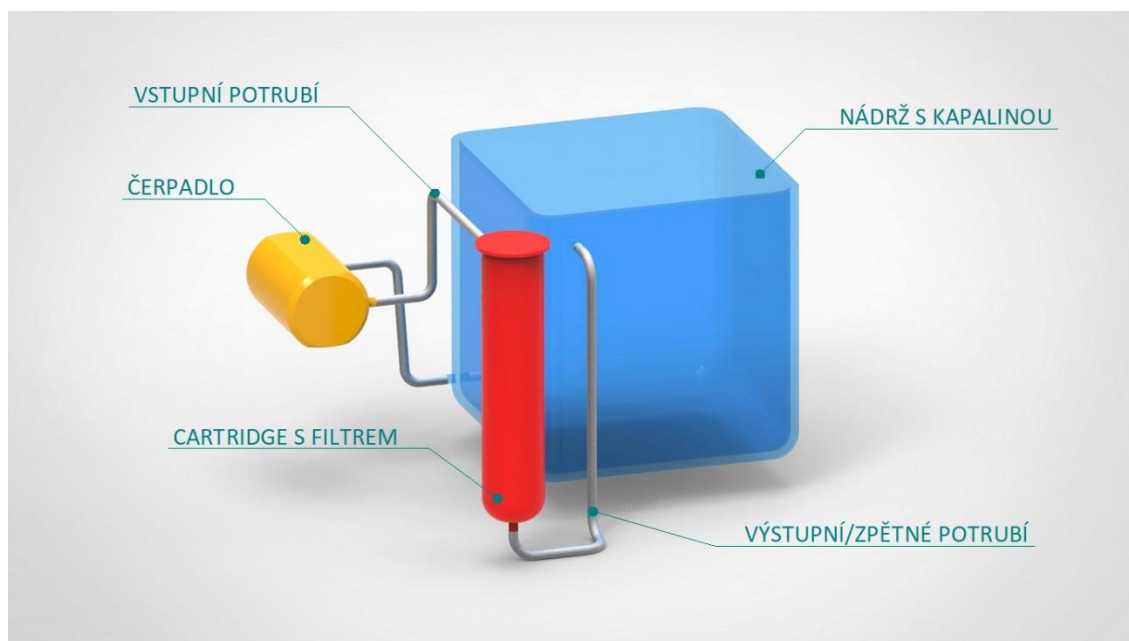


Obrázek 17 - schéma čerpadla se dvěma nádržemi

Výhodou tohoto řešení je možná analýza kapalin před filtrací a po samotné filtraci. Nevýhodou jsou větší zástavbové rozměry a nutnost po ukončení zkoušky opět přečerpat kapalinu z výstupní nádrže zpět do vstupní. Také objem samotných nádrží je limitujícím faktorem pro dobu trvání zkoušky.

#### e) Jedna nádrž s čerpadlem

Poslední koncept se také drží použití čerpadla a nádrže. V tomto případě je použita jedna nádrž a kapalina zde cirkuluje.



Obrázek 18 - schéma čerpadla s použitím jedné nádrže

Tento koncept dovoluje kontinuální testování, kde není limitující hodnotou objem nádrže a lze tedy stanovit čas zkoušky dle potřeb aktuálního pokusu. Také zástavbové rozměry nemají příliš velké požadavky.

### 3.2 Výběr nejvhodnějšího konceptu

Před konstrukčním návrhem je třeba zvolit nejvhodnější koncept, který bude následně zpracován. Jednotlivé koncepty jsou hodnoceny z pohledu užitných vlastností, zástavbových rozměrů a funkčnosti. Hodnocení probíhá formou bodového ohodnocení 0–5. Platí pravidlo, že více bodů znamená lepší hodnocení dané vlastnosti.

Koncepty jsou pro přehlednost dále označovány písmennými indexy viz tabulka 2.

Pro posouzení nejvhodnějšího návrhu byly vybrány významné vlastnosti, které respektují jak samotný průběh zkoušky (konstantní průtok, regulace průtoku apod.) tak i vlastnosti mající vliv na ekonomické zhodnocení celého projektu.

*Tabulka 2 - označení konceptů během jejich vyhodnocení*

označení konceptů během hodnocení	
<b>a</b>	gravitační způsob
<b>b</b>	tlačení pístem
<b>c</b>	tlačení pístem; klikový mechanismus
<b>d</b>	čerpadlo; dvě nádrže
<b>e</b>	čerpadlo; jedna nádrž

*Tabulka 3 -vyhodnocení konceptů na základě užitečných vlastností bodovým ohodnocením*

koncept užitečná vlastnost	a	b	c	d	e
možnost kontinuální zkoušky	0	0	2	0	5
malé nároky na zástavbové rozměry	0	3	2	2	4
konstantní průtok	0	5	0	5	5
možnost regulace průtoku	5	5	5	5	5
možnost ohřevu kapaliny	2	3	3	4	5
využití normalizovaných součástí	1	1	1	5	5
malá spotřeba vody	0	0	0	3	4
nízké výrobní náklady	1	2	1	2	3
snadná výroba	3	2	0	3	3
absence pomocných konstrukcí/příslušenství	1	2	2	3	3
budoucí modifikace	1	1	1	3	3
<b>SUMA</b>	<b>14</b>	<b>24</b>	<b>17</b>	<b>35</b>	<b>45</b>

Nejvhodnějšími kandidáty pro budoucí realizaci je koncept s indexem **d** a koncept **e**. Pro jednoznačné rozhodnutí jsou kritéria modifikována a je opět provedeno bodové hodnocení pro určení nejvhodnějšího konceptu. Vlastnosti, které byly u obou konceptů shodně hodnoceny jsou ze závěrečného hodnocení vyřazeny.

Kritéria závěrečného vyhodnocení:

*-Kontinuální průběh zkoušky:*

Důležitá vlastnost. Plánový čas jednotlivých zkoušek v řádech minut až desítek minut. Testování v řádu hodin se nepředpokládá.

*-Zástavbové rozměry*

Vzhledem k omezenému prostoru laboratoří TUL je vhodné dodržet co nejmenší zástavbové rozměry.

*-Regulace průtoku*

Další z klíčových vlastností. Zajištění univerzálnosti zařízení pro testování filtrů s různými požadavky průtoku.

*-Ohřev média*

Nutné pro simulování podmínek, ve kterých má být testovaný filtr aplikován.

*-Absence trvalého připojení ke zdroji vody*

Ekonomické hledisko. Vzhledem k požadavku na průtok až  $600 \text{ l.m}^{-1}$  je žádoucí, aby byla voda cyklována a nedocházelo ke spotřebě vody během provozování filtrační tratě.

Tabulka 4 - závěrečné vyhodnocení konceptů

koncept užitná vlastnost	d	e
kontinuální průběh zkoušky	0	5
zástavbové rozměry	2	4
regulace průtoku	5	5
ohřev média	5	5
Absence připojení ke zdroji vody	5	5
<b>SUMA</b>	<b>17</b>	<b>24</b>

Závěrečné hodnocení ukázalo, že nejvhodnějším konceptem k dalšímu zpracování je koncept **e**, tedy využití jedné nádrže, čerpadla, a uzavřeného oběhu s cirkulací média viz obrázek 18. Tento koncept také pracuje s malým objemem vody, který je cyklován, a proto nedochází ke spotřebě vody během testování. Oběhový systém také napomáhá při ohřevu kapaliny, kdy nedochází k velkým tepelným ztrátám a spotřeba energie pro ohřev kapaliny je tedy menší.

### 3.3 Konstrukční návrh

Tato kapitola obsahuje konstrukční návrh filtrační tratě, který musí respektovat požadavky pro zkoušku, volbu vhodných materiálů, tak i maximalizaci využití normalizovaných součástí pro jejich snadnou dostupnost. Cílem kapitoly je volba vhodných komponentů, návrh konstrukčního řešení a také umístění komponentů na vhodná místa filtrační tratě pro dosažení maximální kompaktnosti a funkčnosti.

#### *Vodní nádrž:*

Vodní nádrž (rezervoár) je první komponentou, kterou je třeba se zabývat. Objem rezervoáru nemusí být velký, pokud se před spuštěním celá trať zaplaví. Vzhledem k možnosti ohřevu vody je žádoucí pracovat s co nejmenším objemem vody, který se tak dříve ohřeje na požadovanou teplotu. Při využití maximálního průtoku  $600 \text{ l} \cdot \text{min}^{-1}$  je vhodné uvažovat s objemem minimálně 600 litrů. Z tohoto důvodu je zvolena nádrž o objemu  $1 \text{ m}^3$ , která bude při zaplavené filtrační trati naplněna do cca  $\frac{1}{2}$  svého objemu.

Minimalizace množství vody ve filtrační trati bude v případě potřeby napomáhat k efektivnějšímu ohřevu.

Z ekonomického hlediska je vhodné vybrat nádrž, která je na trhu běžně dostupná. Nabízí se využití tzv. IBC nádrže viz obrázek 19. Materiál nádrže je polypropylen, s vrchním šroubovacím hrdlem a spodní výpustí typu DN50 či DN80. Lze snadno zhotovit otvory/přípojky dle požadavků konstrukce. Teplota tání polypropylenu je 160-170 °C. Materiál nádrže splňuje požadavky typu: chemická odolnost, zdravotní nezávadnost i rázová houževnatost (odolnost proti proražení nádrže). PP nádrž je pro naše využití ideální volbou. IBC nádrže jsou opatřeny také kovovou ochrannou klecí, v které je samotná nádrž umístěna pro vyšší odolnost proti mechanickému poškození i proti působícímu tlaku vody.



*Obrázek 19 - IBC nádrž s ochrannou klecí*

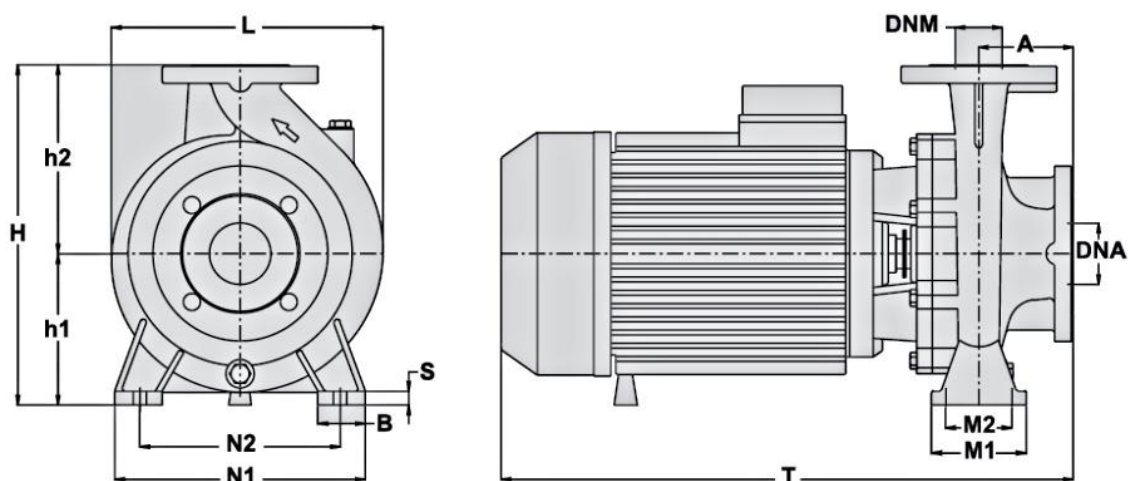
#### *Vodní čerpadlo:*

Při volbě vodního čerpadla je nutno dodržet požadavky filtrační tratě, tj. teplota vody až 70 °C, průtok 600 l.min<sup>-1</sup>, možnost regulace průtoku, maximální tlak 10 bar. Tyto požadavky splňují průmyslová čerpadla, kterých je na trhu dostatek. Ideální volbou je čerpadlo s již osazeným motorem nebo pohonem. Z důvodu nutnosti vysokého výkonu je možno použít také čerpadlo se spalovacím motorem. Nicméně požadavek na umístění v laboratoři by značně komplikovaly produkované emise, a proto se tato varianta zamítá.

Tabulka 5- parametry čerpadla

Parametry čerpadla	
Značka	STAC
Typ	N 40/2000 T
Výkon	15 kW
Průtok	150–700 l.min <sup>-1</sup>
Napětí	400–690 V
Proud	32–17 A
Frekvence	50 Hz
Hmotnost	104 kg

Bylo zvoleno elektrické čerpadlo značky STAC kategorie N. Průmyslové čerpadlo splňuje normu DIN 24255 určeno pro čerpání vody do teploty 80 °C s maximálním pracovním tlakem 10 bar. Stupeň krytí IP 44. Chlazení elektropohonu je řešeno vzduchem pomocí zakrytované vrtule, která je součástí kompletu. Vzhledem k hmotnosti 104 kg bude nutné čerpadlo umístit na pevnou podložku na zem a fixovat ho. Regulace otáček bude realizována pomocí napěťového AC měniče v daném rozsahu. [7]



Obrázek 20 - rozměrové schéma čerpadla [7]

Rozměry čerpadla viz obrázek 20 a tabulka 6. Během konstrukce je třeba zohlednit přípojovací rozměry DN 65 a DN 40.

Tabulka 6 - rozměry čerpadla [7]

TYPE	A mm	H mm	h1 mm	h2 mm	L mm	M1 mm	M2 mm	N1 mm	N2 mm	B mm	S mm	T mm	DNA	DNM
N40/400	80	292	132	160	245.5	100	70	240	190	50	15	460	65	40
N40/550	80	292	132	160	245.5	100	70	240	190	50	15	460	65	40
N40/750	100	340	160	180	275	100	70	265	212	50	15	560	65	40
N40/1000	100	340	160	180	275	100	70	265	212	50	15	560	65	40
N40/1500	100	405	180	225	310	125	95	320	250	65	15	600	65	40
N40/2000	100	405	180	225	310	125	95	320	250	65	15	600	65	40



### *Škrťací ventil:*

Jedním z požadavků je pracovní tlak až do hodnoty 10 bar. Tento požadavek je z důvodu simulace reálného provozu, kde může být filtr tomuto pracovnímu prostředí vystaven. Z tohoto důvodu musí být filtrační trať vybavena škrťacím ventilem, kterým bude možno požadovaného tlaku dosáhnout. Ventil bude umístěn za testovaným filtrem a bude navyšovat tlak v oblasti okruhu od čerpadla, přes filtr až k ventilu.

Požadovaný ventil musí mít lineární charakteristickou křivku pro snadné nastavení požadovaného tlaku. Další podmínkou je připojení pomocí PN přírub a zároveň minimální tlakové ztráty během plně otevřeného ventilu.

Vhodným ventilem splňujícím tyto požadavky je ventil dle normy EN558/14. V našem případě použití ventilu s označením KSB BOA-C 2017 viz obrázek 21.



*Obrázek 21 – ilustrace škrťacího ventilu KSB [8]*

### *Potrubí:*

Potrubí bude složeno z několika dílů, které bude obsahovat trubky, příruby, těsnění apod. Volba typu materiálu potrubí – PP. Vzhledem k jeho cenové dostupnosti a snadné dílenské zpracovatelnosti je ideální volbou. Použití tlakových PP trubek norma DIN EN ISO 15874 je možné při dosahované teplotě vody 70 °C až do hodnoty tlaku 10 bar [9], což se shoduje s naším maximálním pracovním tlakem. Při nižších teplotách okolo 20 °C je maximální povolený tlak v potrubí až 20 bar. Podmínka je tedy splněna. PP trubky se vyrábí v normou stanovených potrubních řadách. Je tedy zajištěna jejich kompatibilita s plochými přírubami PN norma EN10204, které budou sloužit ke spojení jednotlivých částí potrubí. Nízká cena PP trubek a jejich snadná zpracovatelnost dovoluje v případě potřeby budoucí modifikace/úpravy.

### *Průtokoměr:*

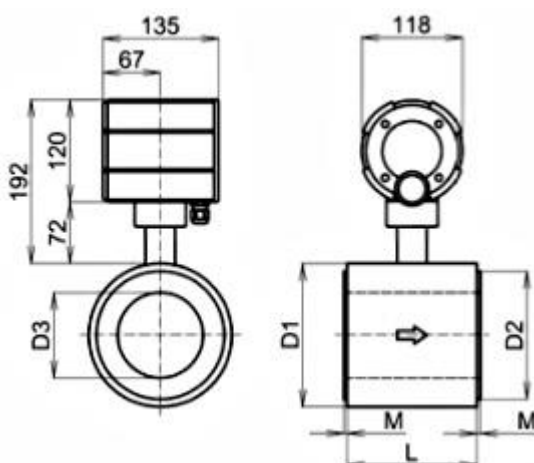
Důležitým zařízením pro nastavení předepsaných podmínek během zkoušky je průtokoměr. Slouží k indikaci aktuálního průtoku, který bude regulován čerpadlem. Požadavky na průtokoměr jsou: spolehlivost, teplotní odolnost, snadné zapojení do systému, vhodný rozsah, rychlá reakce na změny průtoku a minimální až nulové tlakové ztráty.

Vzhledem k požadavkům na průtokoměr se jeví vhodným řešením měření bez mechanických částí. Z tohoto důvodu je zvolen tzv. magnetoindukční průtokoměr. Konkrétně průtokoměr řady FG4000 značky Limesa viz obrázek 22.



*Obrázek 22 - Limesa FG4000*

Připojovací rozměry průtokoměru jsou v rozměru DN 40. Použití tzv. kompaktního provedení, určeného montáží mezi příruby viz obrázek 23. Rozsah průtokoměru Q 23–905 l.min<sup>-1</sup>. Použití teflonové (PTFE) výstelky s rozsahem teplot měřené kapaliny 0-150° C. Přesnost měřidla 1 % od Q<sub>min</sub> do Q<sub>max</sub>. Maximální provozní tlak je 25 bar, dle EN1092 tedy připojení s označením PN25 [8]. Průtokoměr zobrazuje naměřená data na displeji (dvě verze provedení: s displejem a bez displeje), tak i možnost sběru dat pomocí frekvenčních a analogových výstupů. Pro naše využití postačí verze bez displeje.



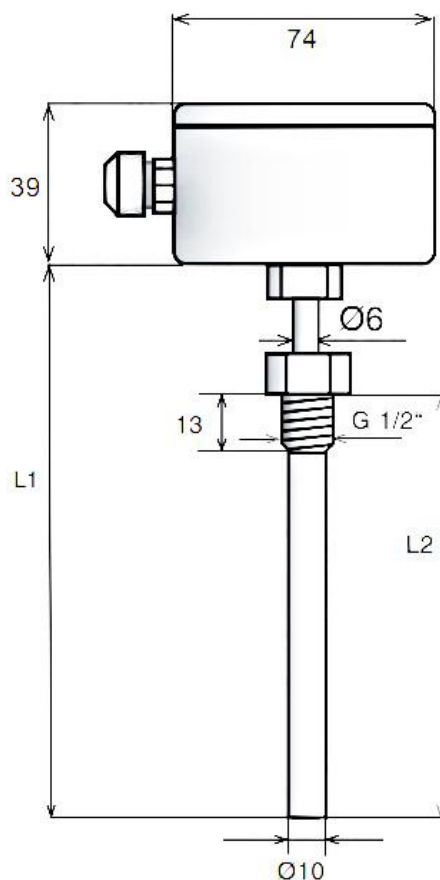
*Obrázek 23 - kompaktní provedení FG4000 [10]*

### *Snímač teploty*

Pro komplexnost výsledků a také možnost regulace ohřevu kapaliny je nutno filtrační trať osadit teploměry. Již samotné čerpadlo bude v chodu předávat teplo kapalině a bude zapotřebí při prvních testech filtrační trať změřit, zda je třeba tento jev brát při testování filtrů v potaz.

Požadavky pro snímač teploty jsou: snadná montáž, malé zástavbové rozměry, použití pro proudící kapaliny a digitální výstupní signál.

Zvolen snímač teploty značky Regmet s označením P13U. Snímač je osazen montážním závitem G1/2 viz rozměrová skica obrázek 24. Výstupní signál v rozsahu 0–10 V. Čidlo teploty – odporový element. Chyba měření dle výrobce do 0,6 %. Rozsah měření 0-100 °C. Použití snímače do tlaku 40 barů [11].



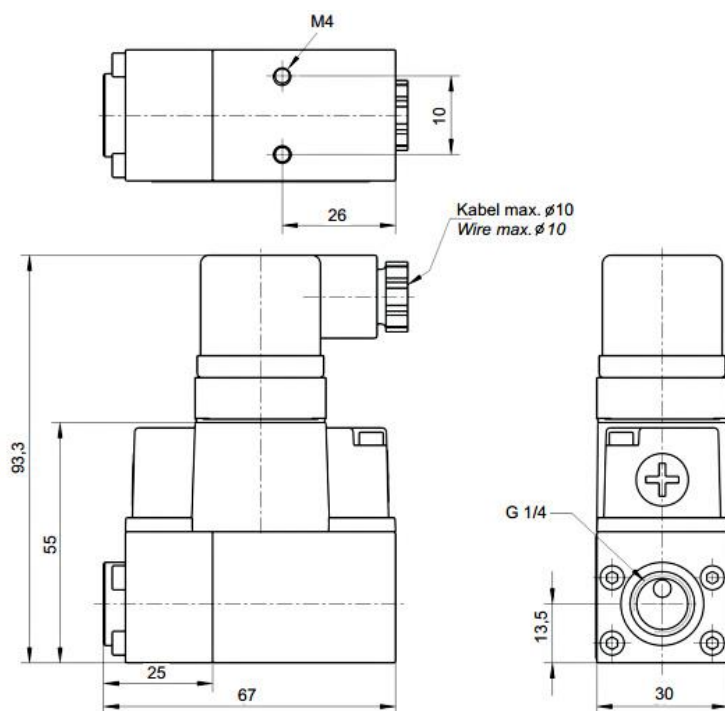
Obrázek 24 - rozměrová skica snímače teploty [11]

### *Tlakové čidlo:*

Klíčovým parametrem pro testování filtru během jeho zanášení je tlakový spád. Z tohoto důvodu je třeba vybrat vhodné čidlo, kterým bude možno změny tlaku během zkoušky měřit.

Požadavky pro tlakové čidlo jsou totožné, jako pro snímače teploty. Již samotný název „tlakový spád“ napovídá, že je třeba měřit rozdíl tlaku, a to v těsné blízkosti před a za filtrem. Lze to tedy řešit buď osazením dvěma čidly, nebo použitím jednoho čidla, které má dva vstupy a je již na toto měření připraveno. Tato čidla se nazývají diferenciální čidla tlaku. Použití jednoho diferenciálního čidla je pro naše účely vhodnější. Čidlo se umístí v těsné blízkosti před vstupem do filtru a zároveň se v těsné blízkosti za výstupem filtru zhotoví přípojka pro druhý vstup do diferenciálního čidla pomocí hadičky. Takto zapojené diferenciální čidlo má vše potřebné pro měření rozdílu tlaku. Z těchto údajů je výstupní veličinou přímo rozdíl tlaku způsobený filtrem a není tak třeba z dat odečítat celkový tlak v systému.

Vhodným čidlem pro tyto požadavky je čidlo značky Thermokon s označením DPL4/V. Čidlo se připojuje pomocí závitů velikosti G1/4 viz obrázek 25. Rozsah čidla 0-4 barů. Výstupní signál je zde shodně jako v případě teplotního čidla, tedy v rozsahu 0-10 V. Chyba měření 1 %. Odezva čidla pod 10ms. Teplotní rozsah pro měření kapaliny je -10 až 80 °C [12].



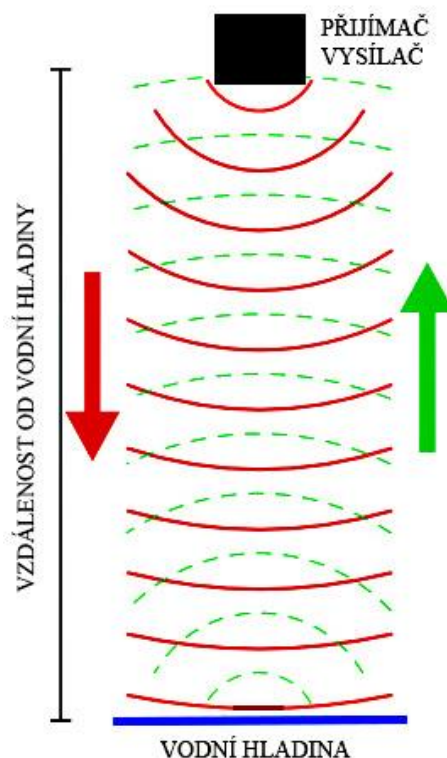
Obrázek 25 - rozměrová skica tlakového čidla DPL4/V

### *Hladinoměr*

Pomocným měřením během chodu filtrační tratě je měření hladiny ve vodním rezervoáru. Toto měření není nezbytné pro testování filtrů. Slouží pouze jako kontrolní měření, kdy bude možno nastavit alarmy/upozornění během poklesu hladiny pod určitou úroveň. Slouží tedy jako bezpečnostní opatření v případě, že by docházelo k úniku kapaliny během chodu a nebylo to zpozorováno včas obsluhou. Dalším důvodem je umístění sacích hrdel, kde je třeba zajistit, aby byla vždy dostatečná výška hladiny a celý systém filtrační tratě se tak nezavzdušnil.

Nabízí se zde možnost hladinoměru s plovákem, kdy plovák při dosažení dané výšky hladiny sepně kontakty a tím dojde k následnému zapnutí varovného signálu. Toto řešení

však nemusí být vhodné pro použití v našem případě, kde bude docházet k rychlé obměně kapaliny v rezervoáru, a tedy možnému zvlnění hladiny. Také instalace do uzavřené nádoby o vstupním otvoru cca 200 mm není snadným úkolem. Vhodným řešením zjištění vodní hladiny bezkontaktní pomocí ultrazvuku. Obecně se ultrazvuk na podobné aplikace osvědčil. Například pro lodní sonary, či v metalurgickém průmyslu, kde slouží k nalezení trhlin vně materiálu. Princip metody je následující: ultrazvuk prochází testovaným materiálem (prostředím), jakmile „narazí“ na trhlínu či jiná cizí tělesa, dojde k jeho odrazení a následnému zachycení zpětné vlny. Díky tomu lze



Obrázek 26 - schéma hladinoměru

trhlínu či cizí těleso snadno lokalizovat a určit jeho velikost. Totožně bude pracovat ultrazvuk i v našem případě, kdy je třeba zjistit výšku vodní hladiny. Na vrchní hraně rezervoáru bude umístěn ultrazvukový vysílač/přijímač, který bude vysílat vlny směrem k vodní hladině. Následně se vlna odrazí od vodní hladiny zpět k vysílači/přijímači viz obrázek 26. Tím získáme potřebnou informaci o výšce vodní hladiny, kterou je třeba exportovat pomocí napěťového či proudového signálu do záznamového zařízení.

Druhým řešením je využití tlakového čidla na dně nádoby pro měření hydrostatického tlaku, kdy lze snadným výpočtem získat informaci o aktuální výšce vodní hladiny.

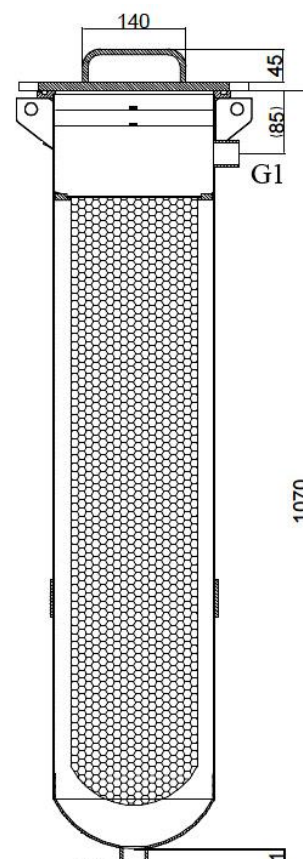
Rozhodnutí o daném provedení bude učiněno až při samotné realizaci.

### *Těleso filtru*

Testované filtry budou umístěny do filtračního tělesa viz obrázek 27, které je zhotoveno z nerezové oceli. Obsahuje koš pro umístění filtru, těsnící poklop pro snadnou výměnu filtrační vložky a vlastní montážní stojan. Připojovací rozměry tělesa filtru jsou vnitřní závit G1 na vstupu i výstupu. Těleso filtru firmy Alfico s.r.o. s označením AFB02 pro

rukávcový filtr. Maximální provozní tlak 10 bar a hodnota maximální teploty 75 °C [13]. Tělo filtru má vlastní stojan, v kterém je pevně usazeno. Stojan je osazen kotvicími otvory pro pevnou montáž k podlaze.

Dalším krokem k dokončení konstrukčního návrhu je rozmístění jednotlivých komponent po filtrační trati a návrh vedení potrubí. Umístění čerpadla vzhledem k jeho hmotnosti je nejvhodnější pomocí podložky na zem a jeho následné upevnění. Vstupní a výstupní otvory v rezervoáru budou zhotoveny v horní části nádrže. Toto provedení umožňuje opomenout složité utěšňování okolo umístění vstupního a výstupního potrubí. Vzniká tím otázka, zda bude čerpadlo schopné sát kapalinu přes tento výškový rozdíl. Maximální sací výška použitého čerpadla N40/2000 T je 7 m. V našem případě dochází k výškovému přesahu cca 1 m viz obr 28. Tento návrh tedy funkci čerpadla nijak neovlivní.



Obrázek 27 - rukávcový filtr [13]

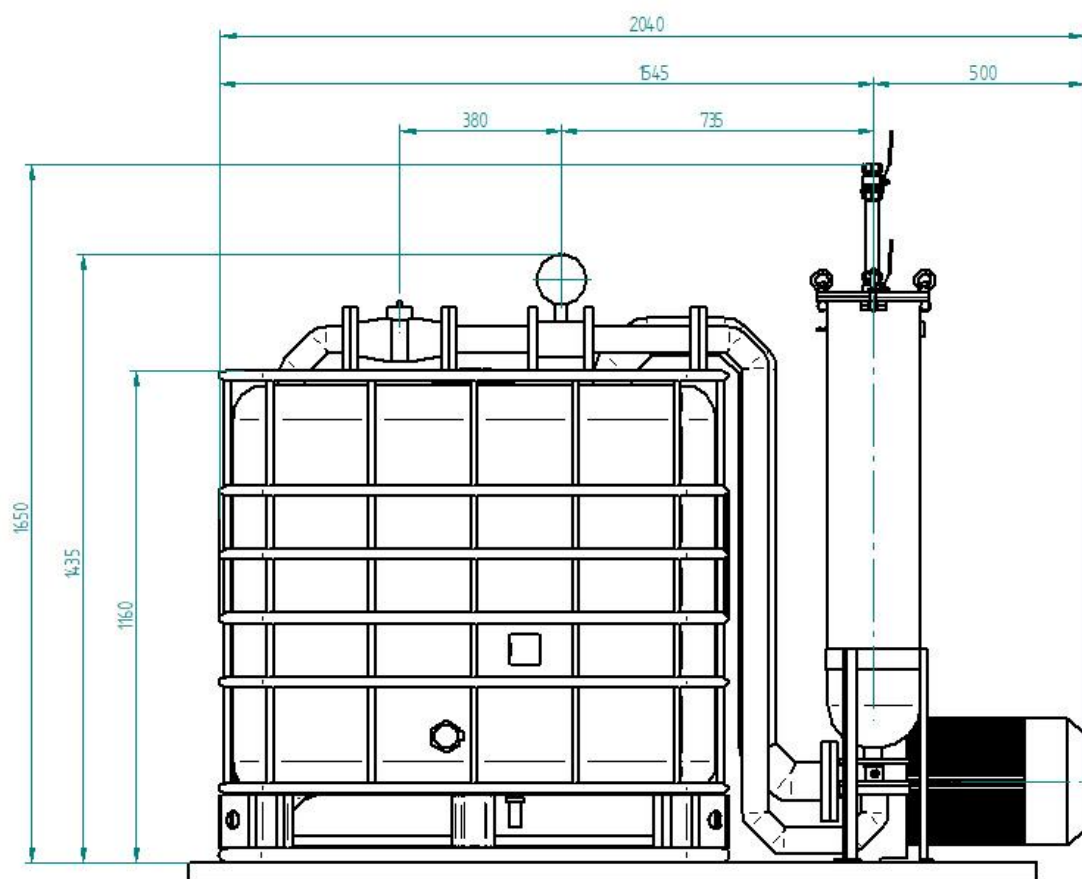
Během návrhu je třeba brát v potaz pracovní teploty od cca 20 °C (standardní laboratorní teplota) až po 70 °C docílené pomocí topného tělesa. Z tohoto důvodu nesmí být opomenuta teplotní dilatace, ke které bude během provozu docházet. Koeficient délkové roztažnosti dle ISO 11359 je pro PP  $7 \cdot 10^{-5} \cdot \text{K}^{-1}$  [14]. Pro představu výpočet změny délky potrubí na jednom metru při změně teploty z 20 °C na 70 °C viz rovnice (3):

$$\Delta L = \Delta t \cdot \alpha \cdot L = 50 \cdot 7 \cdot 10^{-5} \cdot 1000 = 3,5 \text{ mm} \quad (3)$$

Při délce PP potrubí o délce 1 m a ohřátí o 50 °C dojde k tepelnému roztažení o 3,5 mm. Teplotní roztažnost PP je přibližně 6x větší než oceli ( $1,2 \cdot 10^{-5} \cdot \text{K}^{-1}$ ). Během návrhu a samotné realizaci je tedy třeba na tento fakt myslet a zajistit, aby mohlo k této dilataci docházet. Vedení potrubí tedy musí být osazeno koleny a pružným upevněním, která dovolí dostatečnou možnost pohybu pro dilataci.

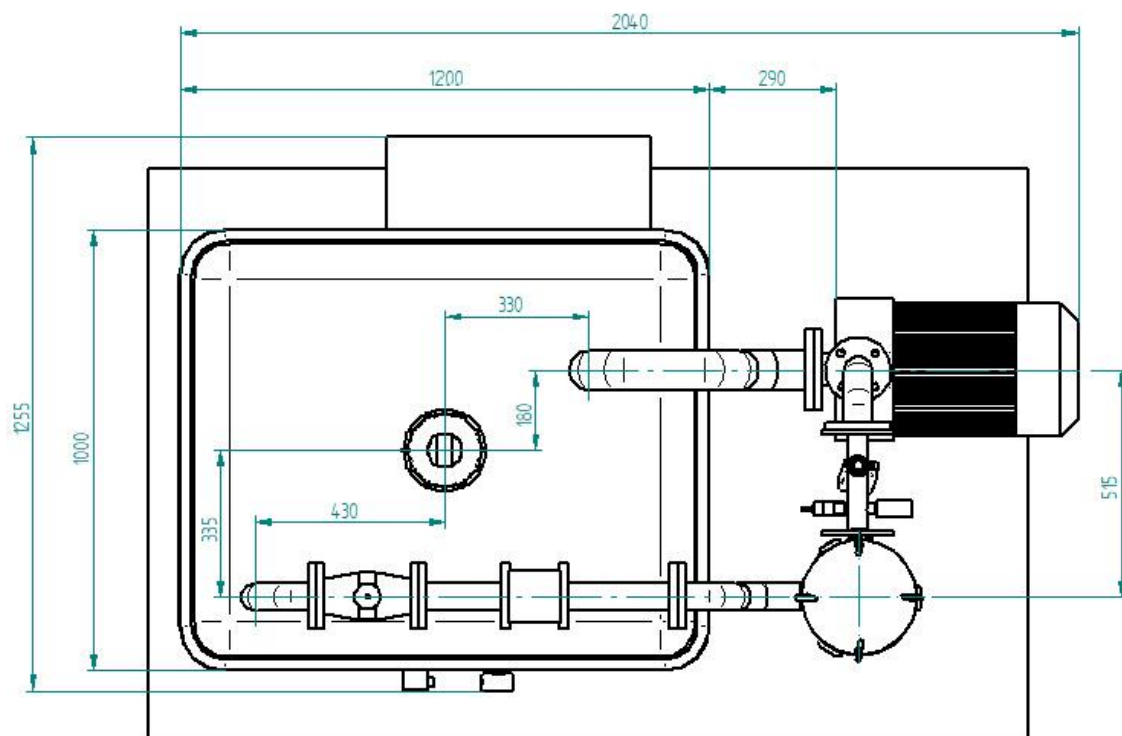
Umístění vstupních a výstupních otvorů na vrchní části rezervoáru řeší problém s utěsněním – není třeba vstupní a výstupní otvory těsnit, protože nebudou v kontaktu s kapalinou. Pokud by byl přívod k čerpadlu ve výšce sacího otvoru čerpadla, bylo by nutno tuto průchodku skrz stěnu nádrže pracně těsnit.

Způsob vedení potrubí a rozměrovou skicu lze vidět na obrázku 28 a obrázku 29. Skici slouží pouze k orientačnímu rozmístění jednotlivých dílců a způsobu vedení potrubí. Volba dalších rozměrů (přesné délky potrubí) bude řešena až během realizace, kdy bude potrubí zhotovováno tzv. „na míru“ dle potřeb.



*Obrázek 28 - rozměrová skica; nárys filtrační tratě*



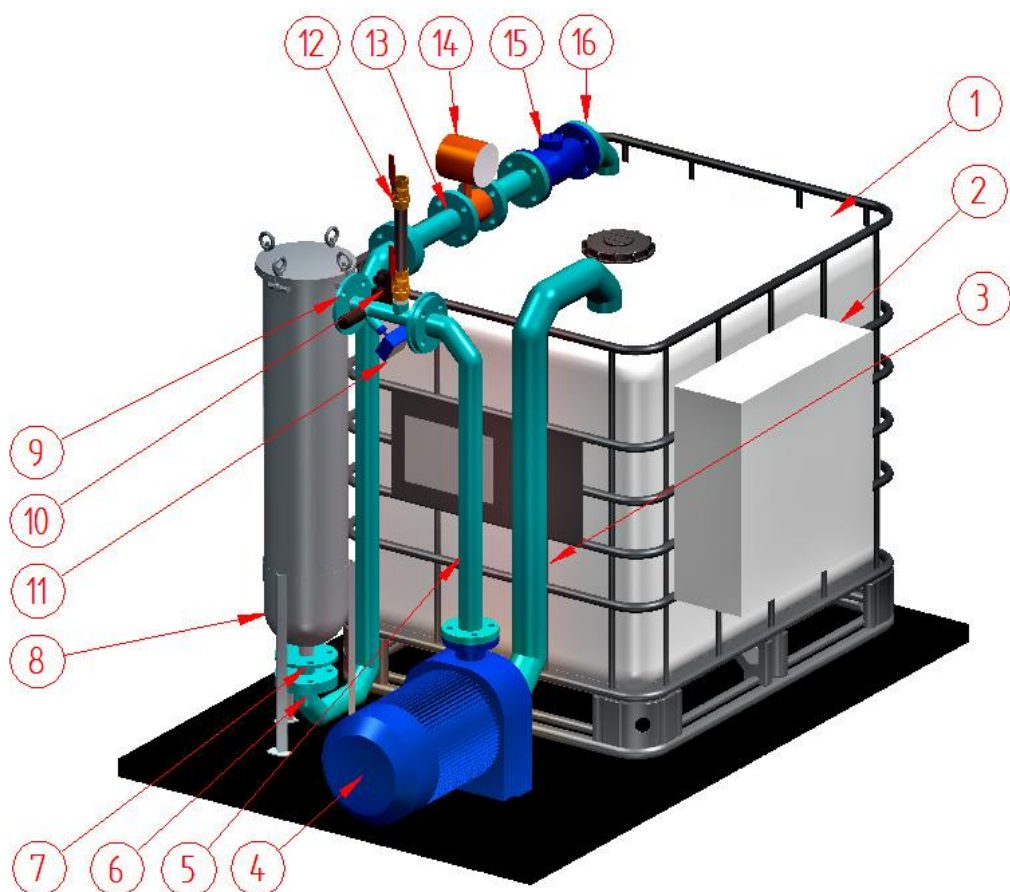


Obrázek 29 - rozměrová skica; bokorys filtrační tratě

Posledním bodem konstrukčního návrhu je volba průměru potrubí v jednotlivých místech filtrační tratě. Volba je limitována připojovacími rozměry jednotlivých komponent, které již byly vybírány s ohledem na maximální hodnotu požadovaného průtoku.

Na přiloženém obrázku viz obrázek 30 je znázorněna kompletní sestava. Jednotlivé dílce označeny příslušnými pozicemi. Jejich označení případně popis viz kusovník tabulka 7.





Obrázek 30 - sestava filtrační tratě s pozicemi

Tabulka 7 - kusovník sestavy

POZICE	NÁZEV	OZNAČENÍ / INFORMACE
1	NÁDRŽ	IBC 1 m3
2	ELEKTROINSTALACE	Box pro kompletní elektroinstalaci
3	POTRUBÍ 01	Sací potrubí čerpadla, rozměr přírub DN 65
4	ČERPADLO	STAC N 40/2000 T
5	POTRUBÍ 02	Výstupní potrubí čerpadla, rozměr přírub DN 40
6	POTRUBÍ 03	Potrubí DN 45
7	POTRUBÍ 04	Výstupní potrubí tělesa filtru, přechod z G1 na DN 40
8	TĚLESO FILTRU	Alfico AFB02 – nerez
9	POTRUBÍ 05	Vstupní potrubí tělesa filtru, přechod z DN 40 na G1
10	DIF. ČIDLO TLAKU	Thermokon DPL4/V
11	ČIDLO TEPLoměRU	Regmet P13U
12	DÁVKOVACÍ ZAŘÍZENÍ	dávkování pomocí kulových ventilů
13	POTRUBÍ 06	Potrubí, rozměr přírub DN 45
14	PRŮTOKOMĚR	Limesa FG4000 DN 40
15	ŠKRTÍCÍ VENTIL	KSB BOA-C
16	POTRUBÍ 07	Potrubí, rozměr přírub DN 50

Vytvořením kompletní sestavy v 3D podobě a vybráním všech klíčových komponent končí kapitola konstrukčního návrhu zařízení.

#### *Shrnutí kapitoly:*

Došlo k výběru klíčových komponent typu: rezervoár, čerpadlo, škrtkovací ventil, materiál pro tvorbu potrubí, průtokoměr, snímač teploty, tlakové čidlo, hladinoměr a těleso filtru. Následně byl zhotoven 3D model s ohledem na parametry filtrační tratě a připojovací rozměry komponent. Bylo provedeno skreslení základních rozměrových skic, které budou předlohou během realizace zařízení.

Na závěr kapitoly jsou přiloženy dva pohledy na kompletní filtrační trať pro lepší vizualizaci viz obrázek 31 a obrázek 32.



*Obrázek 31 - render filtrační tratě*



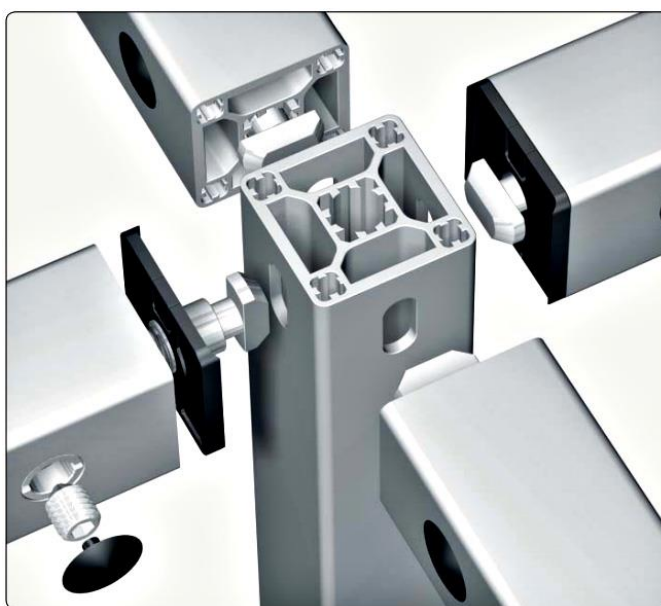
*Obrázek 32 - render filtrační tratě*

### 3.4 Realizace návrhu

V předešlé kapitole byl proveden návrh filtrační tratě. Následující kapitola se zaměřuje již na samotnou realizaci návrhu tzn. stavbu filtrační tratě dle rozměrového výkresu viz příloha 01.

Filtrační trať bude pevně umístěna v laboratoři. Nepředpokládá se, že by se s ní často manipulovalo z důvodu změny umístění. V případě, že by to ale bylo třeba, lze ji přemístit. K jejímu přemístění by bylo třeba vyjmout čerpadlo s pohonem a stěhovat ji po částech. Celá trať ale bude montovaná, takže to v případě potřeby lze provést.

Z tohoto je důvodu je třeba zajistit, aby během následné demontáže a zpětné montáže díly na sebe lícovaly. Toho lze docílit v případě, že budou mít jednotlivé díly pevně dané umístění. Je tedy žádoucí vytvořit podpurný rám, ke kterému budou prvky pevně ukotveny. Vzhledem k jednoduché montážní aplikaci byly zvoleny normované konstrukční ALU profily.



Obrázek 33 - aplikace ALU profilů [15]

Výhodou těchto profilů je možnost spojování pomocí spojovacího materiálu a dalšího příslušenství. Spojování jednotlivých dílů je tedy vždy pomocí šroubového spoje. Výhody šroubového spoje jsou rychlost spojení a zejména následná snadná demontáž. Profily obsahují drážky pro snadné sesazení dílů. Lze tak snadno docílit kvalitního slícování dílců. Alu profily a jejich příslušenství tak představují jakousi stavebnici, ze které je možné si zhotovit konstrukce dle vlastních požadavků viz obrázek 33. Z profilů byl vytvořen rám umístěný na podlahu laboratoře. K rámu je pevně připevněno čerpadlo i těleso filtru.

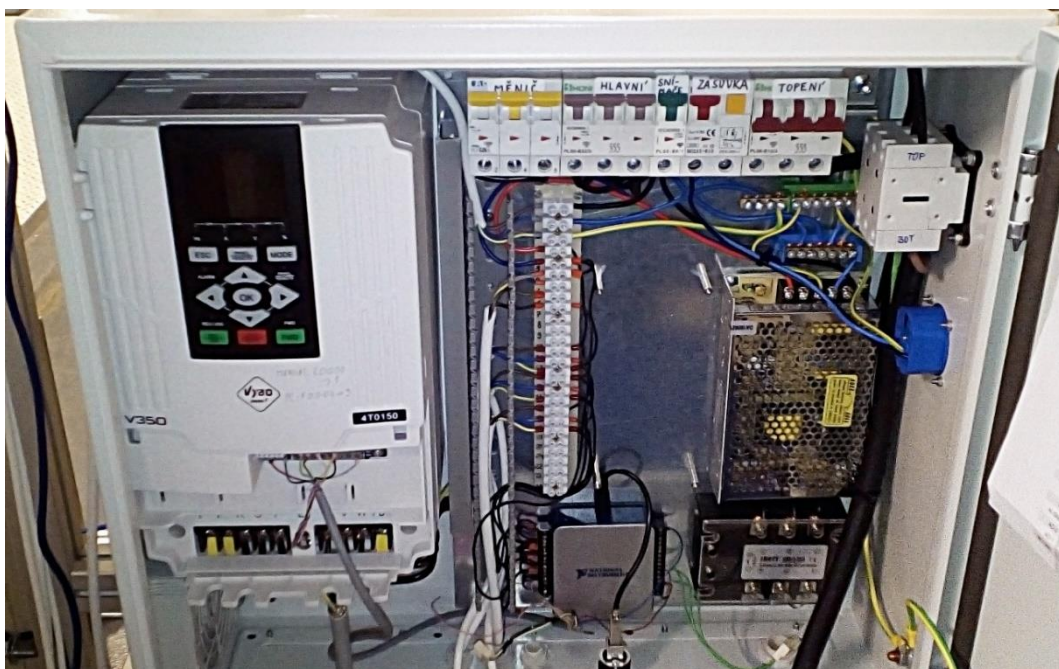
Orámována byla pomocí alu profilů také nádrž. Části tohoto rámu byly využity pro upnutí dalších součástí filtrační tratě. Upnutí regulačního ventilu a zejména potrubí je třeba řešit z důvodu jejich vyšší hmotnosti po zaplavení kapalinou. Použití PP trubek splňuje

veškeré požadavky z hlediska tlaku a teplot, nicméně je třeba potrubí pružně fixovat, aby nemohlo dojít k jejich poškození vlivem hmotnosti po jejich zaplavení vodou. Fixace potrubí je zhotovena pomocí objímek a závitových tyčí k rámu z alu profilů. Potrubí je tedy namáháno pouze tlakem kapaliny a teplotou, nikoliv mechanickým namáháním způsobeným hmotností, tedy gravitační silou. Použity byly objímky s gumovými vložkami, které se běžně aplikují v topenářském i instalatérském odvětví.

Celá sestava je umístěna na nerezovém plechu s lemováním, které by v případě menšího úniku kapaliny zajistilo její zachycení.

Do nádrže je instalováno tepelné těleso, které může v případě potřeby vodu ohřívat na požadovanou teplotu, či ji na této teplotě udržovat.

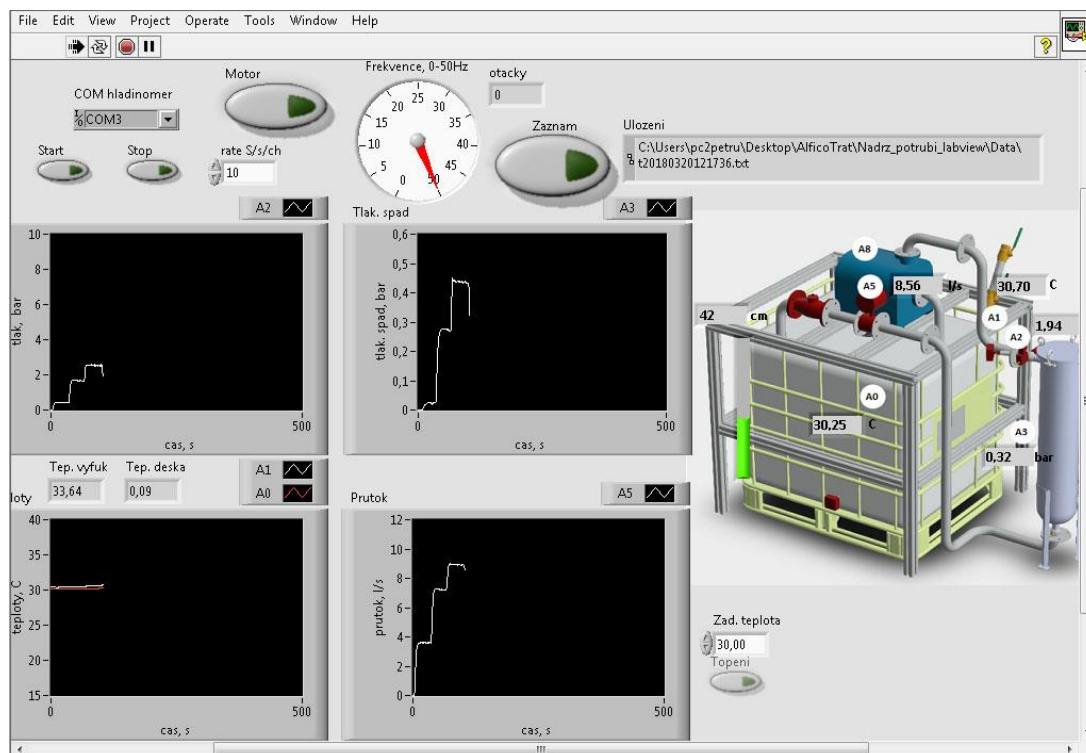
Filtrační trať obsahuje řadu elektronického příslušenství. Ať už napájení jednotlivých součástí, tak sběr signálů z čidel. Je tedy nutností nechat provést kompletní elektroinstalaci kvalifikovanými pracovníky TUL, kteří mají potřebné znalosti a platné vyhlášky opravňující zapojení provádět. Řada jističů, frekvenční měnič pro regulaci čerpadla a další komponenty jsou umístěny v předem připravené elektroinstalační skříni umístěné na rámu viz obrázek 34.



*Obrázek 34 - elektroinstalace*



Dalším krokem bylo navržení způsobu, jak celou filtrační trať obsluhovat. Regulace čerpadla, sběr dat a zobrazení aktuálních hodnot (teploty, tlaku, tlakového spádu). Byl zvolen průtokoměr bez displeje, který umožňuje výstup ve formě signálu. Čidla teploty a tlaku mají pouze výstupní signály. Tyto signály je třeba zpracovat jednak pro možnost uložení do souboru, tak pro aktuální zobrazení hodnot. Je třeba zvolit vhodný způsob, jak s daty nakládat a zobrazovat je. Ideální volbou je tvorba aplikace (programu) fungujícímu v prostředí operačního systému Windows. Požadavky na aplikaci: zapnutí/vypnutí čerpadla, regulace čerpadla, zobrazení hodnot teploty a tlaku, hodnota průtoku, sběr dat. Z tohoto důvodu byl vytvořen program pracovníky TUL sloužící k obsluze filtrační tratě viz obrázek 35. Graficky intuitivní program fungující v prostředí LabVIEW usnadňuje obsluhu. Data jsou ukládána do textového formátu (.txt). Lze také stanovit množství dat ukládaných v závislosti na čase. Maximální rychlost zápisu naměřených dat je 2500 zápisů za sekundu. To dovoluje velmi podrobnou následnou analýzu. Datové soubory obsahují velké množství dat, nicméně vzhledem k formátu (.txt) mají malé požadavky na velikost souboru (od desítek kB po jednotky MB). S daty je po jejich uložení ve formě .txt souboru možno nakládat dle uvážení. Lze je převádět do řady statistických programů typu Matlab, R, Excel a podobně. Následné vyhodnocení dat je již shodné se standardním postupem pro práci s daty.



Obrázek 35 - prostředí ovládání filtrační tratě

Obsluhující program v prostředí LabVIEW dovoluje změnu hodnoty zápisu „rate“, nastavení a zapnutí topného tělesa, potvrzení záznamu dat, spouštění motoru/čerpadla a zároveň jeho regulaci pomocí tahového potenciometru pro změnu frekvence v rozsahu 0-50 Hz. Součástí programu jsou také grafická okna, kde lze „online“ sledovat aktuální hodnoty během měření. V pravé části obrazovky je umístěna vizualizace filtrační tratě s umístěním jednotlivých čidel a jejich aktuálních hodnot.

Stavba filtrační tratě byla časově náročná. K realizaci bylo třeba zapojit řadu kvalifikovaných pracovníků k dosažení výsledku a dodržení zásad o ochraně zdraví při práci během následné obsluhy tratě.

Závěr kapitoly obsahuje fotografii již kompletní filtrační tratě viz obrázek 36 před jejím testováním viz následující kapitola.



*Obrázek 36 - fotografie smontované filtrační tratě před testováním*

### 3.5 Ověřování zařízení

Cílem této kapitoly je testování filtrační tratě z hlediska funkčnosti. Zjistit její parametry, otestovat limitní hodnoty, sbírat data a následně je vyhodnotit. Tato kapitola je důležitá pro celkové hodnocení tratě a návrhů pro případné modifikace, budou-li třeba. Detailněji bude probráno v kapitole „Diskuze“.

K testování filtrační tratě bylo firmou Alfico s.r.o. dodáno 15 filtrů z různých materiálů, které již firma na trh dodává. Přehled testovaných filtrů viz tabulka 8. Označení filtrů výrobcem bylo respektováno a dodrženo.

*Tabulka 8 - přehled testovaných filtrů*

typ filtru / označení		
PP25MI	PE1MI	PE200MI
PP100MI	NYLON300MI	PP10MI
PP1MI	NYLON600MI	PP5MI
PE25MI	NYLON100MI	PES300MI
PE100MI	PE50MI	PP50MI

Cíle ověřování:

- Ověření limitních hodnot, průběh měřených veličin.
- Vliv koše v tělese filtru na měřené charakteristiky.
- Měření 15 filtrů a jejich hodnocení.

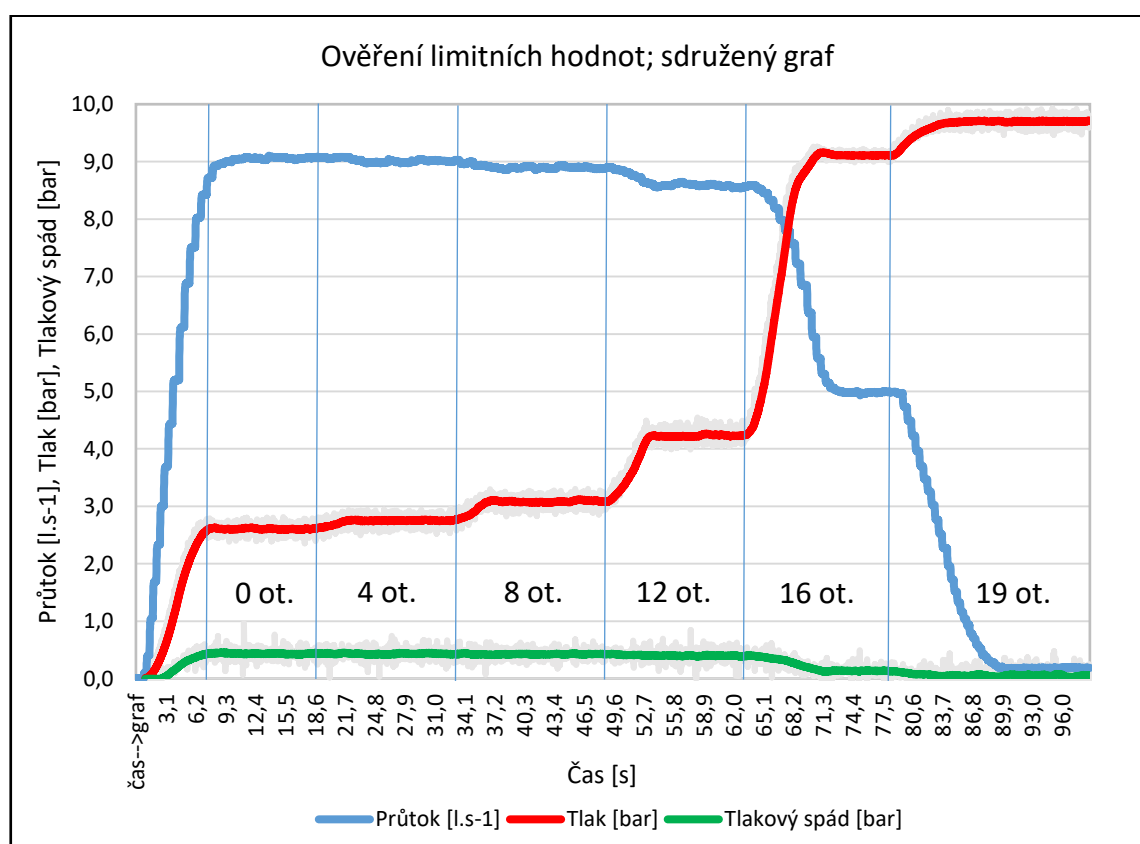
#### *a) Ověření limitních hodnot, průběh měřených veličin*

Prvním bodem ověření je zjištění maximálních hodnot, kterých lze během provozu filtrační tratě dosáhnout. Zejména použití maximálních průtoků a také maximálního tlaku při zaškrvení ventilem. Otestování filtrační tratě při limitních hodnotách je důležité. Přestože byla trať na tyto hodnoty dimenzována, je třeba provést zkušební test. Průběh zkoušky viz tabulka 9.

Tabulka 9 - průběh testu pro ověření limitních hodnot

Průběh zkoušky				
koš	uzavírání ventilu	frekvence	změna hodnot	zápis dat
ano	ano, po 4 otáčkách	50 Hz	15 s	100/s

Frekvence čerpadla byla nastavena na 50 Hz = maximální výkon čerpadla. Zápis dat nastaven na 100 zápisů za sekundu. Během zkoušky došlo každých cca 15 sekund k přivření škrticího ventilu o 4 otáčky. Rozsah škrticího ventilu je 19 otáček. Plně otevřený ventil značen jako 0 otáček. Plně zaškrcený ventil značen jako 19 otáček.



Obrázek 37 - graf testu pro ověření limitních hodnot filtrační tratě

Ventil byl skokově přiškrcován pro zjištění jeho přibližné charakteristiky. Z výsledného grafu zkoušky (obrázek 37) je patrné, že průběh tlaku je značně nelineární, přestože uzavírání ventilu lineární je. To je způsobeno tzv. autoritou ventilu, která je udána jako poměr tlakové ztráty ventilu při plném otevření ku tlakové ztrátě ventilu při plném uzavření. Obecně platí, že čím je větší autorita ventilu, tím je regulační schopnost ventilu lepší, avšak za cenu zvýšených odporů v potrubní síti a nutnosti použití výkonnějšího čerpadla. Použitý ventil KSB BOA-C umožňuje nastavení v požadovaném rozsahu, jen



je třeba při snaze o dosažení cíleného tlaku hodnotu tlaku sledovat na základě okamžitých měřených hodnot. Maximální dosažená hodnota průtoku činí **9,1 l.s<sup>-1</sup>** a maximální hodnota tlaku při plně zaškrceném ventilu je **9,92 bar**. Při přepočtu průtoku na hodnotu l.min<sup>-1</sup> získáváme hodnotu cca 546 l.min<sup>-1</sup>.

Tyto rozsahy hodnot nám v budoucnu dovolí simulovat reálné podmínky, ve kterých jsou testované filtry aplikovány.

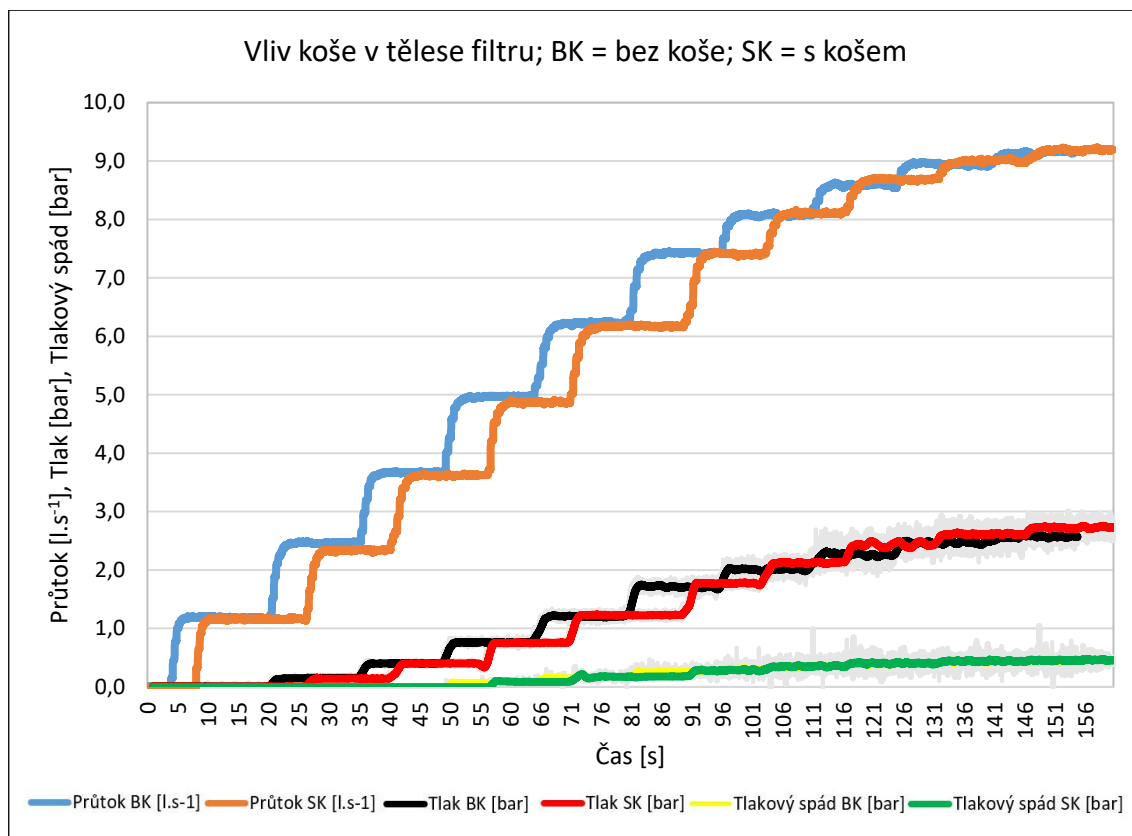
*b) Vliv koše v tělese filtru na měřené charakteristiky*

Další částí ověřování je zjištění, zda má koš vyrobený z perforovaného nerezového plechu umístěného v tělese filtru (viz obrázek 27) vliv na měřené veličiny. Z tohoto důvodu je tedy zhotoveno měření dvakrát se zachováním shodného průběhu zkoušky. Jedna zkouška bez koše (značeno BK), druhá s košem (značeno SK). Výsledky budou následně porovnány pro zjištění vlivu.

*Tabulka 10- průběh zkoušky "vliv koše"*

Průběh zkoušky				
koš	uzavírání ventilu	frekvence	změna hodnot	zápis dat
ne	ne	5–50 Hz	15 s	100/s
ano	ne	5–50 Hz	15 s	100/s

Průběh zkoušky je uveden v tabulce 10. Ventil je plně otevřen, změna frekvence po 5 Hz od 0 po maximální hodnotu 50 Hz (3000 ot.min<sup>-1</sup>) pro měření hodnot v celém rozsahu filtrační tratě. Změna frekvence provedena každých cca 15 sekund. Průběhy obou zkoušek jsou uvedeny v grafu obrázek 37. Z důvodu lepší přehlednosti jsou průběhy zkoušek na časové ose odsazeny o několik vteřin.



Obrázek 38 - graf testu vlivu koše umístěného ve filtračním tělese

Grafický výstup (viz obrázek 38) naznačuje, že vliv přítomnosti či absence koše umístěného ve filtračním tělese je malý. Hodnoty obou zkoušek jsou velmi blízké, v řadě případů se překrývají. Přesto budou výsledky následně statisticky vyhodnoceny pro získání výsledku.

Data jsou statisticky zpracována. Z každého časového úseku o ustálené frekvenci (5, 10, 15 až 50 Hz) je vypočtena střední hodnota, směrodatná odchylka a interval spolehlivosti pro střední hodnotu na hladině 95 %. Následně jsou vždy výsledky při shodné frekvenci porovnány, zda je mezi nimi rozdíl statisticky významný či nikoliv. Toto porovnání je prováděno pomocí intervalu spolehlivosti. Pokud se intervaly spolehlivosti sledovaných hodnot (měření s košem / bez koše) překrývají, je rozdíl mezi těmito hodnotami statisticky nevýznamný. Výsledky viz tabulky 10–13.

Tabulka 11 - Průtok; test vlivu koše v tělese filtru na charakteristiky

Průtok [l.s <sup>-1</sup> ]								
Frekvence	Měření	Střední hodnota	Směr. odchylka	Rozdíl min max	Confidence	95 % IS střední hodnoty		Statistické vyhodnocení
Hz	BK / SK	$\bar{x}$	s	-	-	IS dolní	IS horní	
5	BK	1,1846	0,0088	0,0600	0,0005	1,1841	1,1851	Významné
	SK	1,1626	0,0051	0,0662	0,0003	1,1623	1,1629	
10	BK	2,4677	0,0102	0,0500	0,0006	2,4671	2,4683	Významné
	SK	2,3444	0,0199	0,1947	0,0013	2,3431	2,3456	
15	BK	3,6714	0,0079	0,0500	0,0005	3,6708	3,6719	Významné
	SK	3,6213	0,0067	0,0642	0,0004	3,6210	3,6217	
20	BK	4,9632	0,0097	0,0600	0,0006	4,9625	4,9638	Významné
	SK	4,8712	0,0090	0,0837	0,0006	4,8706	4,8717	
25	BK	6,2275	0,0153	0,1100	0,0009	6,2266	6,2284	Významné
	SK	6,1740	0,0102	0,0662	0,0005	6,1735	6,1745	
30	BK	7,4245	0,0143	0,0700	0,0008	7,4237	7,4254	Významné
	SK	7,4117	0,0150	0,1538	0,0009	7,4107	7,4126	
35	BK	8,0741	0,0156	0,0800	0,0010	8,0732	8,0751	Významné
	SK	8,1085	0,0087	0,0798	0,0006	8,1080	8,1091	
40	BK	8,5870	0,0229	0,1400	0,0013	8,5857	8,5883	Významné
	SK	8,6847	0,0111	0,0662	0,0007	8,6840	8,6854	
45	BK	8,9406	0,0145	0,0700	0,0009	8,9397	8,9416	Významné
	SK	9,0091	0,0154	0,0915	0,0010	9,0082	9,0101	
50	BK	9,1445	0,0232	0,1000	0,0014	9,1431	9,1459	Významné
	SK	9,1905	0,0142	0,0876	0,0008	9,1896	9,1913	

Statistické vyhodnocení prokázalo, že koš má na měřené charakteristiky vliv. Ve všech měřeních je rozdíl statistiky významný. Rozdíl hodnot průtoku je do 2 %.

Tabulka 12 - Tlak; test vlivu koše v tělese filtru na charakteristiky

Tlak [bar]								
Frekvence	měření	Střední hodnota	Směr. odchylka	Rozdíl min max	Confidence	95 % IS střední hodnoty		Statistické vyhodnocení
Hz	BK / SK	$\bar{x}$	s	-	-	IS dolní	IS horní	
5	BK	0,0072	0,0086	0,0949	0,0005	0,0067	0,0077	Nevýznamné
	SK	0,0069	0,0088	0,1218	0,0005	0,0065	0,0074	
10	BK	0,1552	0,0157	0,1630	0,0009	0,1543	0,1561	Nevýznamné
	SK	0,1444	0,0160	0,1425	0,0010	0,1434	0,1454	
15	BK	0,4018	0,0179	0,1240	0,0012	0,4006	0,4030	Významné
	SK	0,3974	0,0243	0,1693	0,0014	0,3960	0,3988	
20	BK	0,7604	0,0362	0,2230	0,0024	0,7580	0,7628	Významné
	SK	0,7550	0,0173	0,1218	0,0011	0,7539	0,7562	
25	BK	1,2050	0,0478	0,2600	0,0028	1,2022	1,2077	Významné
	SK	1,2323	0,0347	0,2664	0,0018	1,2305	1,2342	
30	BK	1,7076	0,0602	0,4000	0,0036	1,7040	1,7111	Významné
	SK	1,7842	0,0559	0,3469	0,0037	1,7806	1,7879	
35	BK	2,0111	0,0816	0,5000	0,0051	2,0060	2,0163	Významné
	SK	2,1252	0,0508	0,3283	0,0033	2,1219	2,1285	
40	BK	2,2708	0,1360	0,7600	0,0079	2,2629	2,2786	Významné
	SK	2,4310	0,0914	0,5803	0,0056	2,4254	2,4367	
45	BK	2,4692	0,1102	0,6300	0,0072	2,4620	2,4764	Významné
	SK	2,6141	0,1179	0,6587	0,0074	2,6067	2,6215	
50	BK	2,5714	0,0858	0,5300	0,0051	2,5663	2,5765	Významné
	SK	2,7258	0,0963	0,6030	0,0059	2,7200	2,7317	

Vyhodnocení tlaku prokázalo, že je rozdíl zkoušek ve většině případů opět statisticky významný. Došlo tedy ke ztrátě tlaku přibližně o 6 %.

Tabulka 13 - Tlakový spád; test vlivu koše v tělese filtru na charakteristiky

Tlakový spád [bar]								
Frekvence	měření	Střední hodnota	Směr. odchylka	Rozdíl min max	Confidence	95 % IS střední hodnoty		Statistické vyhodnocení
Hz	BK / SK	$\bar{x}$	s	-	-	IS dolní	IS horní	
5	BK	-0,0008	0,0018	0,0217	0,0001	-0,0009	-0,0007	Nevýznamné
	SK	-0,0009	0,0018	0,0217	0,0001	-0,0010	-0,0008	
10	BK	-0,0008	0,0020	0,0196	0,0001	-0,0009	-0,0006	Nevýznamné
	SK	-0,0009	0,0020	0,0305	0,0001	-0,0010	-0,0008	
15	BK	-0,0008	0,0019	0,0201	0,0001	-0,0010	-0,0007	Nevýznamné
	SK	-0,0009	0,0018	0,0201	0,0001	-0,0010	-0,0008	
20	BK	0,0823	0,0098	0,1094	0,0006	0,0817	0,0829	Významné
	SK	0,0865	0,0020	0,0170	0,0001	0,0864	0,0867	
25	BK	0,1736	0,0353	0,4180	0,0021	0,1715	0,1756	Významné
	SK	0,1764	0,0123	0,1833	0,0006	0,1758	0,1771	
30	BK	0,2720	0,0542	0,3220	0,0031	0,2689	0,2751	Významné
	SK	0,2840	0,0441	0,3041	0,0029	0,2811	0,2868	
35	BK	0,3248	0,0751	0,5801	0,0047	0,3201	0,3295	Nevýznamné
	SK	0,3527	0,0577	0,9308	0,0036	0,3491	0,3563	
40	BK	0,3765	0,0854	0,6950	0,0050	0,3715	0,3815	Významné
	SK	0,4047	0,0777	0,5751	0,0049	0,3997	0,4096	
45	BK	0,4136	0,0828	0,5660	0,0053	0,4083	0,4189	Významné
	SK	0,4438	0,0771	0,5710	0,0052	0,4386	0,4490	
50	BK	0,4294	0,0857	0,6000	0,0051	0,4243	0,4344	Významné
	SK	0,4570	0,0800	0,6871	0,0048	0,4523	0,4618	

Také vyhodnocení tlakového spádu je ve většině případů statisticky významné. V tomto případě dochází ke změnám hodnot do 8 %.

#### Shrnutí zkoušky:

Měření prokázalo, že koš umístěný v tělese filtru má vliv na měřené parametry. Přestože jsou výsledky statisticky významné, je ale rozdíl hodnot v řádů procent.

V případě průtoku dochází ke změnám okolo 2 %. Při nižších frekvencích dochází k poklesu průtoku. Zajímavé je, že při vyšších frekvencích nad 35 Hz (otáčky čerpadla nad 2100  $\text{m}^{-1}$ ) dochází k opačné situaci, tedy k navýšení průtoku (v případě použití perforovaného koše). Důvodem tohoto jevu může být změna proudění, která průtok značně ovlivní. Proudění je ovlivněno řadou faktorů. Obecně se prouděním tekutin zabývá obor zvaný hydrodynamika tekutin. Nicméně zkoumání tohoto jevu není cílem této práce, proto již není dále rozebírán.

Tlak při použití perforovaného koše vzrostl o 6 %, ale také až při použití vyšších frekvencí jako v případě průtoku. Při frekvencích do 25 Hz byla hodnota tlaku při použití perforovaného koše nižší.

Tlakový spád vzrostl o 8 %. Rozdíl je patrný opět až při vyšších frekvencích nad 25 Hz.

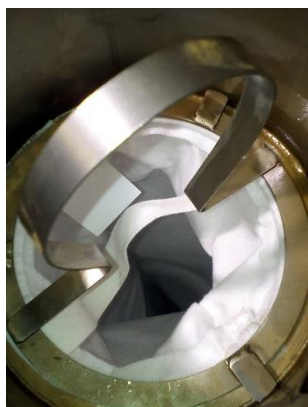
Vzhledem k maximálním hodnotám, které může průtok a další veličiny dosahovat, je vliv koše na měřené parametry téměř zanedbatelný. Použití perforovaného koše ve formě mechanické podpory filtrační vložky je tedy vhodnou volbou.

### *c) Měření 15 filtrů a jejich hodnocení*

Poslední částí této kapitoly je ověření přístroje při testování různých filtračních vložek. Filtry byly dodány firmou Alfico s.r.o. a jsou vyrobeny z různých materiálů. Přehled testovaných filtrů viz začátek kapitoly tabulka 8. Filtrační vložka je ve formě rukávového filtru viz obrázek 39. Filtrační vložka je pevně umístěna v tělese filtru. Mechanickou podporou vložky je perforovaný koš, který se testoval v předchozím měření. Samotná instalace vložky do filtračního tělesa je zachycena na obrázku 40.



*Obrázek 39 - rukávový filtr  
(filtrační vložka)*



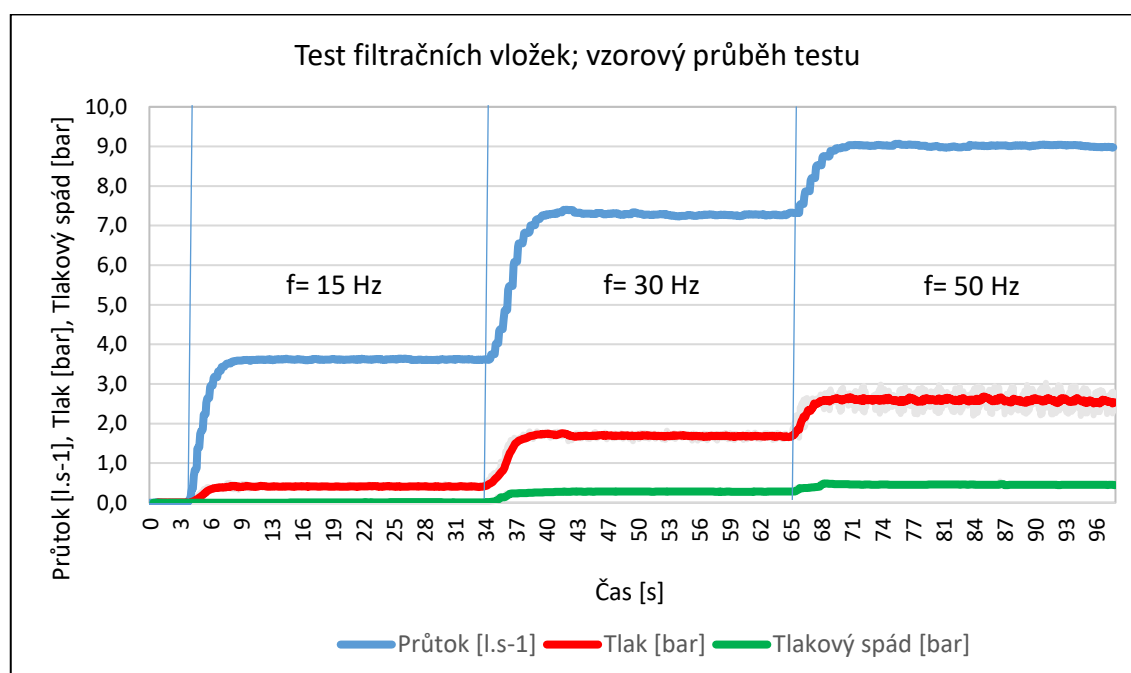
*Obrázek 40 - instalace filtrační  
vložky*

Každý filtr byl testován shodným průběhem zkoušky. Podmínky zkoušky viz tabulka 14. Test proběhl při plně otevřeném škrťacím ventilu. Měření na hodnotách frekvence čerpadla 15, 30 a 50 Hz. Změna hodnot frekvence každých 30 sekund. Zápis dat (rate) nastaven na hodnotu 10 zápisů za sekundu.

Tabulka 14 - průběh zkoušky při testování filtračních vložek

Průběh zkoušky				
koš	uzavírání ventilu	frekvence	změna hodnot	zápis dat
ano	ne	15;30;50 Hz	30 s	10/s

Cílem této zkoušky je opět zjištění středních hodnot průtoku, tlaku a tlakového spádu při ustálených frekvencích čerpadla 15, 30 a 50 Hz. Vzorový průběh zkoušky viz obrázek 41.



Obrázek 41 - průběh testu; testování filtračních vložek

Vzhledem k množství a objemu dat jsou výsledky jednotlivých zkoušek shrnuty do následujících tabulek. Sada výsledků se skládá celkem z devíti tabulek viz tabulky 15-23. Každá tabulka obsahuje jednu sledovanou veličinu při daných otáčkách čerpadla. Výsledky v tabulce vždy obsahují všechny testované filtry pro jejich snadné vzájemné hodnocení.

Data jsou opět statisticky vyhodnocena. V tabulkách je tedy vzhledem k hustotě dat uvedeno jen výsledné shrnutí. Zejména střední hodnota, směrodatná odchylka a 95 % interval spolehlivosti pro střední hodnotu.

Tabulka 15 - test filtrů; průtok; otáčky čerpadla 900 m<sup>-1</sup>

PRŮTOK [l.s <sup>-1</sup> ]; f= 15 Hz						
typ filtru	Střední hodnota	Směr. Odchylka	Rozdíl min max	Confidence	95 % IS střední hodnoty	
	$\bar{x}$	s	-	-	IS dolní	IS horní
PP25MI	3,6179	0,0081	0,0389	0,0010	3,6169	3,6190
PP100MI	3,5975	0,0133	0,0759	0,0017	3,5958	3,5991
PP1MI	3,5882	0,0134	0,0700	0,0018	3,5865	3,5900
PE25MI	3,6086	0,0200	0,1110	0,0027	3,6059	3,6112
PE100MI	3,6188	0,0132	0,0900	0,0017	3,6171	3,6206
PE1MI	3,5833	0,0146	0,0701	0,0019	3,5813	3,5852
NYLON300MI	3,6441	0,0108	0,0662	0,0015	3,6426	3,6455
NYLON600MI	3,5893	0,0077	0,0448	0,0010	3,5883	3,5902
NYLON100MI	3,5661	0,0110	0,0934	0,0015	3,5645	3,5676
PE50MI	3,5527	0,0139	0,0642	0,0019	3,5508	3,5546
PE200MI	3,5522	0,0170	0,0915	0,0022	3,5500	3,5544
PP10MI	3,5382	0,0276	0,1635	0,0036	3,5346	3,5418
PP5MI	3,3998	0,0233	0,1168	0,0032	3,3965	3,4030
PES300MI	3,6140	0,0104	0,0584	0,0013	3,6126	3,6153
PP50MI	3,5802	0,0109	0,0565	0,0014	3,5788	3,5816

Tabulka 16 - test filtrů; průtok; otáčky čerpadla 1800 m<sup>-1</sup>

PRŮTOK [l.s <sup>-1</sup> ]; f= 30 Hz						
typ filtru	Střední hodnota	Směr. Odchylka	Rozdíl min max	Confidence	95 % IS střední hodnoty	
	$\bar{x}$	s	-	-	IS dolní	IS horní
PP25MI	7,2819	0,0260	0,1635	0,0034	7,2785	7,2853
PP100MI	7,2413	0,0369	0,1265	0,0051	7,2361	7,2464
PP1MI	7,2590	0,0480	0,1800	0,0067	7,2523	7,2656
PE25MI	7,2027	0,0634	0,2219	0,0086	7,1940	7,2113
PE100MI	6,9629	0,0243	0,1200	0,0033	6,9596	6,9662
PE1MI	7,2095	0,0400	0,1557	0,0054	7,2041	7,2149
NYLON300MI	7,2954	0,0324	0,1402	0,0045	7,2909	7,2999
NYLON600MI	7,3119	0,0178	0,0720	0,0024	7,3096	7,3143
NYLON100MI	7,2126	0,0150	0,0740	0,0021	7,2105	7,2147
PE50MI	7,0770	0,0312	0,2239	0,0041	7,0729	7,0811
PE200MI	7,0651	0,0318	0,1363	0,0042	7,0609	7,0693
PP10MI	7,1496	0,0300	0,1402	0,0041	7,1455	7,1537
PP5MI	7,3122	0,0309	0,1187	0,0041	7,3081	7,3163
PES300MI	7,3470	0,0345	0,1285	0,0045	7,3426	7,3515
PP50MI	7,0805	0,0338	0,1207	0,0045	7,0760	7,0849



Tabulka 17 - test filtrů; průtok; otáčky čerpadla 3000 m<sup>-1</sup>

PRŮTOK [l.s <sup>-1</sup> ]; f= 50 Hz						
typ filtru	Střední hodnota	Směr. Odchylka	Rozdíl min max	Confidence	95 % IS střední hodnoty	
	$\bar{x}$	s	-	-	IS dolní	IS horní
PP25MI	9,0166	0,0211	0,0993	0,0025	9,0141	9,0191
PP100MI	8,9384	0,0256	0,1071	0,0033	8,9352	8,9417
PP1MI	8,8671	0,0436	0,1800	0,0055	8,8616	8,8727
PE25MI	8,8197	0,0284	0,1187	0,0035	8,8163	8,8232
PE100MI	8,6386	0,0334	0,3000	0,0039	8,6348	8,6425
PE1MI	8,8562	0,0347	0,1655	0,0044	8,8517	8,8606
NYLON300MI	8,9885	0,0383	0,1577	0,0048	8,9837	8,9933
NYLON600MI	9,1206	0,0168	0,0818	0,0020	9,1186	9,1226
NYLON100MI	9,0099	0,0263	0,1071	0,0033	9,0065	9,0132
PE50MI	8,8215	0,0240	0,1012	0,0031	8,8184	8,8246
PE200MI	8,8141	0,0259	0,0993	0,0034	8,8107	8,8175
PP10MI	8,7876	0,0365	0,1733	0,0047	8,7829	8,7923
PP5MI	8,9773	0,0469	0,1733	0,0061	8,9712	8,9834
PES300MI	9,0651	0,0206	0,0934	0,0026	9,0625	9,0677
PP50MI	8,7019	0,0458	0,1810	0,0060	8,6960	8,7079

Tabulka 18 - test filtrů; tlak; otáčky čerpadla 900 m<sup>-1</sup>

TLAK [bar]; f= 15 Hz						
typ filtru	Střední hodnota	Směr. Odchylka	Rozdíl min max	Confidence	95 % IS střední hodnoty	
	$\bar{x}$	s	-	-	IS dolní	IS horní
PP25MI	0,4092	0,0191	0,1115	0,0025	0,4067	0,4117
PP100MI	0,4205	0,0375	0,1673	0,0048	0,4157	0,4252
PP1MI	0,4228	0,0412	0,1920	0,0055	0,4173	0,4283
PE25MI	0,4242	0,0347	0,1611	0,0046	0,4196	0,4288
PE100MI	0,4151	0,0231	0,1360	0,0030	0,4121	0,4181
PE1MI	0,4226	0,0218	0,1053	0,0029	0,4197	0,4254
NYLON300MI	0,4000	0,0404	0,1755	0,0055	0,3945	0,4055
NYLON600MI	0,4053	0,0149	0,0805	0,0019	0,4035	0,4072
NYLON100MI	0,4272	0,0214	0,1838	0,0030	0,4242	0,4302
PE50MI	0,4275	0,0147	0,0888	0,0020	0,4255	0,4296
PE200MI	0,4201	0,0170	0,1012	0,0022	0,4179	0,4223
PP10MI	0,4301	0,0120	0,0785	0,0016	0,4285	0,4316
PP5MI	0,3954	0,0164	0,0971	0,0023	0,3931	0,3977
PES300MI	0,4134	0,0158	0,1177	0,0020	0,4114	0,4154
PP50MI	0,4177	0,0220	0,1136	0,0029	0,4148	0,4206

Tabulka 19 - test filtrů; tlak; otáčky čerpadla 1800 m<sup>-1</sup>

TLAK [bar]; f= 30 Hz						
typ filtru	Střední hodnota	Směr. Odchylka	Rozdíl min max	Confidence	95 % IS střední hodnoty	
	$\bar{x}$	s	-	-	IS dolní	IS horní
PP25MI	1,6912	0,0706	0,6546	0,0092	1,6820	1,7004
PP100MI	1,6675	0,0871	0,3511	0,0121	1,6554	1,6796
PP1MI	1,6807	0,0839	0,4100	0,0114	1,6693	1,6921
PE25MI	1,6335	0,0701	0,3036	0,0095	1,6240	1,6430
PE100MI	1,5396	0,0731	0,3400	0,0097	1,5299	1,5493
PE1MI	1,6657	0,0776	0,4915	0,0106	1,6552	1,6763
NYLON300MI	1,6772	0,0574	0,2808	0,0080	1,6693	1,6852
NYLON600MI	1,7148	0,0289	0,1363	0,0038	1,7109	1,7186
NYLON100MI	1,6762	0,0385	0,2808	0,0054	1,6708	1,6816
PE50MI	1,6382	0,0289	0,1466	0,0038	1,6344	1,6420
PE200MI	1,6079	0,0286	0,1322	0,0037	1,6041	1,6116
PP10MI	1,6313	0,0309	0,1487	0,0042	1,6271	1,6355
PP5MI	1,7187	0,0375	0,2230	0,0050	1,7137	1,7237
PES300MI	1,7190	0,0400	0,2106	0,0052	1,7138	1,7242
PP50MI	1,6206	0,0862	0,4109	0,0115	1,6091	1,6320

Tabulka 20 - test filtrů; tlak; otáčky čerpadla 3000 m<sup>-1</sup>

TLAK [bar]; f= 50 Hz						
typ filtru	Střední hodnota	Směr. Odchylka	Rozdíl min max	Confidence	95 % IS střední hodnoty	
	$\bar{x}$	s	-	-	IS dolní	IS horní
PP25MI	2,5876	0,2292	0,8425	0,0279	2,5596	2,6155
PP100MI	2,5458	0,2073	0,8590	0,0264	2,5194	2,5721
PP1MI	2,5007	0,3647	1,3900	0,0464	2,4543	2,5470
PE25MI	2,4739	0,3652	1,3526	0,0446	2,4293	2,5185
PE100MI	2,3642	0,3922	1,4700	0,0453	2,3188	2,4095
PE1MI	2,5109	0,3708	1,4372	0,0472	2,4637	2,5580
NYLON300MI	2,5665	0,2184	1,0883	0,0272	2,5393	2,5937
NYLON600MI	2,6735	0,0817	0,3800	0,0098	2,6638	2,6833
NYLON100MI	2,6202	0,1002	0,5101	0,0127	2,6075	2,6330
PE50MI	2,5246	0,0970	0,5183	0,0126	2,5120	2,5372
PE200MI	2,4936	0,0892	0,4750	0,0116	2,4820	2,5052
PP10MI	2,4906	0,0997	0,5410	0,0128	2,4777	2,5034
PP5MI	2,6022	0,1238	0,5720	0,0160	2,5862	2,6182
PES300MI	2,6366	0,1847	0,7104	0,0235	2,6131	2,6601
PP50MI	2,4301	0,2376	0,9850	0,0309	2,3992	2,4610

Tabulka 21 - test filtrů; tlakový spád; otáčky čerpadla 900 m<sup>-1</sup>

TLAKOVÝ SPÁD [bar]; f= 15 Hz						
typ filtru	Střední hodnota	Směr. Odchylka	Rozdíl min max	Confidence	95 % IS střední hodnoty	
	$\bar{x}$	s	-	-	IS dolní	IS horní
PP25MI	0,0089	0,0046	0,0248	0,0006	0,0083	0,0095
PP100MI	0,0223	0,0043	0,0237	0,0006	0,0217	0,0228
PP1MI	0,0369	0,0061	0,0300	0,0008	0,0361	0,0377
PE25MI	0,0418	0,0035	0,0207	0,0005	0,0413	0,0422
PE100MI	0,0146	0,0073	0,0315	0,0009	0,0137	0,0156
PE1MI	0,0440	0,0029	0,0186	0,0004	0,0436	0,0444
NYLON300MI	-0,0010	0,0019	0,0155	0,0003	-0,0012	-0,0007
NYLON600MI	-0,0010	0,0018	0,0181	0,0002	-0,0013	-0,0008
NYLON100MI	0,0372	0,0057	0,0449	0,0008	0,0364	0,0380
PE50MI	0,0453	0,0028	0,0201	0,0004	0,0449	0,0457
PE200MI	0,0347	0,0066	0,0356	0,0009	0,0338	0,0355
PP10MI	0,0524	0,0037	0,0232	0,0005	0,0519	0,0529
PP5MI	0,0457	0,0039	0,0217	0,0005	0,0451	0,0462
PES300MI	0,0098	0,0059	0,0294	0,0008	0,0090	0,0105
PP50MI	0,0299	0,0062	0,0367	0,0008	0,0291	0,0307

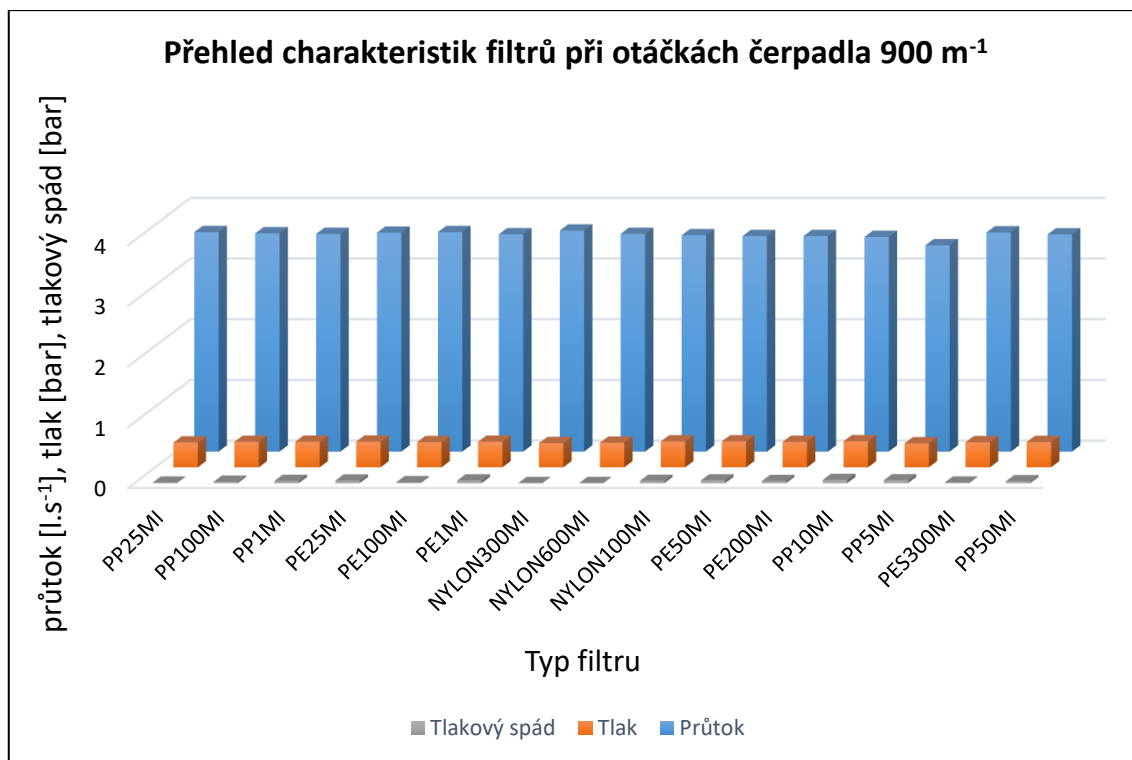
Tabulka 22 - test filtrů; tlakový spád; otáčky čerpadla 1800 m<sup>-1</sup>

TLAKOVÝ SPÁD [bar]; f= 30 Hz						
typ filtru	Střední hodnota	Směr. Odchylka	Rozdíl min max	Confidence	95 % IS střední hodnoty	
	$\bar{x}$	s	-	-	IS dolní	IS horní
PP25MI	0,2805	0,0085	0,0955	0,0011	0,2794	0,2816
PP100MI	0,2747	0,0030	0,0258	0,0004	0,2743	0,2751
PP1MI	0,2916	0,0030	0,0170	0,0004	0,2912	0,2920
PE25MI	0,2775	0,0050	0,0279	0,0007	0,2769	0,2782
PE100MI	0,2539	0,0036	0,0220	0,0005	0,2534	0,2544
PE1MI	0,2891	0,0029	0,0160	0,0004	0,2887	0,2895
NYLON300MI	0,2765	0,0035	0,0258	0,0005	0,2761	0,2770
NYLON600MI	0,2724	0,0026	0,0155	0,0003	0,2720	0,2727
NYLON100MI	0,2690	0,0025	0,0155	0,0003	0,2687	0,2694
PE50MI	0,2713	0,0054	0,0237	0,0007	0,2706	0,2720
PE200MI	0,2593	0,0038	0,0227	0,0005	0,2588	0,2598
PP10MI	0,2774	0,0035	0,0253	0,0005	0,2769	0,2779
PP5MI	0,2927	0,0041	0,0253	0,0006	0,2922	0,2933
PES300MI	0,2806	0,0033	0,0191	0,0004	0,2802	0,2811
PP50MI	0,2741	0,0021	0,0160	0,0003	0,2738	0,2744

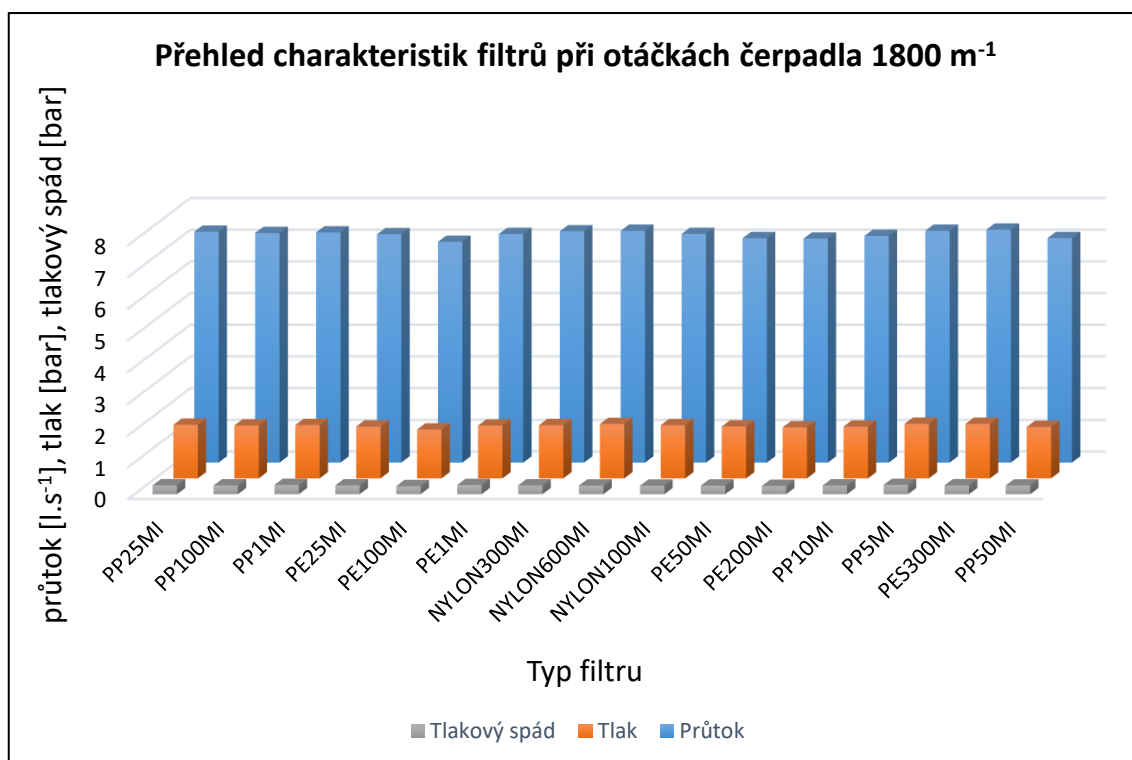
Tabulka 23 - test filtrů; tlakový spád; otáčky čerpadla 3000 m<sup>-1</sup>

TLAKOVÝ SPÁD [bar]; f= 50 Hz						
typ filtru	Střední hodnota	Směr. Odchylka	Rozdíl min max	Confidence	95 % IS střední hodnoty	
	$\bar{x}$	s	-	-	IS dolní	IS horní
PP25MI	0,4539	0,0064	0,0965	0,0008	0,4532	0,4547
PP100MI	0,4375	0,0023	0,0170	0,0003	0,4372	0,4378
PP1MI	0,4482	0,0045	0,0240	0,0006	0,4477	0,4488
PE25MI	0,4345	0,0053	0,0212	0,0007	0,4338	0,4351
PE100MI	0,4189	0,0087	0,0350	0,0010	0,4179	0,4199
PE1MI	0,4551	0,0044	0,0227	0,0006	0,4545	0,4556
NYLON300MI	0,4414	0,0302	0,1750	0,0038	0,4376	0,4451
NYLON600MI	0,4529	0,0109	0,1213	0,0013	0,4516	0,4542
NYLON100MI	0,4539	0,0040	0,0258	0,0005	0,4534	0,4544
PE50MI	0,4408	0,0028	0,0165	0,0004	0,4404	0,4412
PE200MI	0,4301	0,0042	0,0191	0,0005	0,4295	0,4306
PP10MI	0,4375	0,0027	0,0134	0,0003	0,4371	0,4378
PP5MI	0,4714	0,0045	0,0222	0,0006	0,4708	0,4720
PES300MI	0,4562	0,0057	0,0253	0,0007	0,4554	0,4569
PP50MI	0,4419	0,0046	0,0176	0,0006	0,4413	0,4425

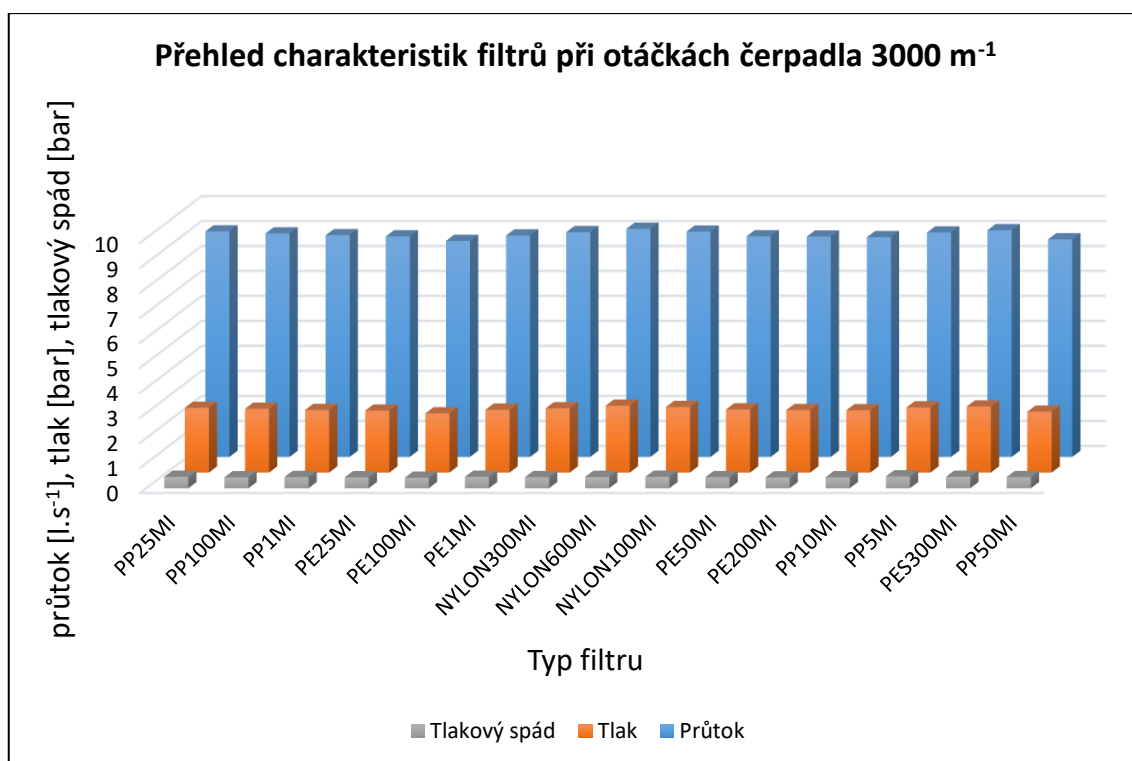
V tomto případě již nejsou provedeny závěry mezi jednotlivými filtry, protože by byly matoucí. V případě potřeby si lze data k jednotlivým filtrům v tabulkách snadno vyhledat a porovnat je. Pro lepší vyhodnocení výsledků jsou ale hodnoty interpretovány také graficky, kde si lze o dosažených výsledcích udělat velmi rychlý přehled. Vizualizace viz obrázky 42-44.



Obrázek 42 - testované filtry při otáčkách čerpadla 900 m<sup>-1</sup>



Obrázek 43 - testované filtry při otáčkách čerpadla 1800 m<sup>-1</sup>



*Obrázek 44 - testované filtry při otáčkách čerpadla 3000 m<sup>-1</sup>*

Z grafů je patrné, jak malý vliv na dosažené výsledky má použitá filtrační vložka. Přestože bylo testováno 15 filtrů o různých materiálech, jsou naměřené hodnoty mezi jednotlivými filtry velmi podobné.

Byly vybrány dva představitelé filtračních vložek, které jsou následně mezi sebou vyhodnoceny. Výběr byl proveden na základě naměřených dat, kdy byla vybrána filtrační vložka s nejlepšími parametry z hlediska průtoku (NYLON 600 MI) při maximálním výkonu čerpadla motoru, a naopak vložka s nejhoršími parametry (PE 100 MI).

*Tabulka 24 vyhodnocení dvou představitelů filtračních vložek*

Frekvence [Hz]	Typ měření	Průtok [l.s <sup>-1</sup> ]		Tlak [bar]		Tlakový spád [bar]	
		hodnota	rozdíl [%]	hodnota	rozdíl [%]	hodnota	rozdíl [%]
15	PE 100 MI	3,619	0,8	0,415	2,4	0,015	-
	NYLON 600 MI	3,589		0,405		0,000	
30	PE 100 MI	6,963	5,0	1,540	11,4	0,254	7,3
	NYLON 600 MI	7,312		1,715		0,272	
50	PE 100 MI	8,639	5,6	2,364	13,1	0,419	8,1
	NYLON 600 MI	9,121		2,674		0,453	

Tabulka obsahuje naměřené hodnoty dvou filtrů typu NYLON 600 MI a filtru PE 100 MI. Rozdíl mezi hodnotami lze sledovat ve sloupci „hodnota“. Pro přehlednější interpretaci je tento rozdíl přepočten na procenta.

Z tabulky 24 je patrné, že dochází ke změně průtoku mezi jednotlivými vložkami do 6 %. Hodnota tlaku se již rozchází při maximální výkonu čerpadla přibližně o 13 % a tlakový spád o 8 %.

Dodané filtrační vložky určené k testování mezi sebou nevykazují velké rozdíly z pohledu tří sledovaných veličin typu: průtok, tlak a tlakový spád. Dále by bylo vhodné na tuto práci navázat a zkoumat tyto charakteristiky během postupného zanášení filtrů včetně sledování jejich efektivity, kde by již mohlo docházet k výraznějším změnám.

K celkovému zhodnocení ještě zbývá porovnat naměřené hodnoty s filtračními vložkami versus hodnoty samotné filtrační tratě. Po odečtení těchto hodnot získáme samotné charakteristiky filtrační vložky, respektive její vliv na sledované veličiny typu průtok, tlak a tlakový spád. Toto vyhodnocení je provedeno v tabulce 25.

*Tabulka 25 - celkové vyhodnocení vlivu filtračních vložek na měřené veličiny*

Frekvence [Hz]	Typ měření	Průtok [ $\text{l}\cdot\text{s}^{-1}$ ]		Tlak [bar]		Tlakový spád [bar]	
		hodnota	rozdíl [%]	hodnota	rozdíl [%]	hodnota	rozdíl [%]
15	bez filtru	3,621	6,2	0,397	8,8	0,000	-
	s filtrem	3,397		0,432		0,053	
30	bez filtru	7,412	6,1	1,784	3,4	0,284	3,2
	s filtrem	6,960		1,724		0,293	
50	bez filtru	9,190	6,0	2,726	1,6	0,457	3,3
	s filtrem	8,635		2,683		0,472	

Pro vyhodnocení byly vybrány představitelé filtračních vložek s nejhoršími dosaženými hodnotami vždy v dané veličině a frekvenci motoru čerpadla.

Použití filtrační vložky ovlivňuje hodnotu průtoku přibližně o 6 % (snížení). Hodnota tlaku je oproti výchozí hodnotě změněna do 9 % (zvýšení) a změna tlakového spádu v hodnotě okolo 3 % (zvýšení). Tyto hodnoty platí pouze pro námi testované filtrační vložky. Je také nutno poznamenat, že jsou tyto hodnoty dosaženy pouze při použití nové filtrační vložky, která nenese známky zanesení.

#### 4. DISKUZE

Během ověřování bylo prokázáno, jak malý vliv má použití filtrační vložky na sledované veličiny. Hodnota průtoku klesla přibližně o 6 %, tlak o 9 % a tlakový spád na samotném filtru byl v hodnotách okolo 3 %. Tyto hodnoty platí pouze pro nové filtrační vložky. Bylo by následně zajímavé sledovat tyto charakteristiky během postupného zanášení filtrů, kde by již docházelo k větším ztrátám. Toto měření bude řešeno v další etapě projektu. Nabízí se zde možnost na tuto práci navázat a zabývat se dále charakteristikami během postupného zanášení filtrů. Trať je k tomu konstrukčně vybavená, obsahuje totiž dávkovací zařízení nečistot.

Trať nyní dosahuje maximálního průtoku cca  $550 \text{ l.min}^{-1}$ . Plánovaný průtok před realizací byl  $600 \text{ l.min}^{-1}$ . Z důvodu financí nebylo možné zakoupit čerpadlo, které by tuto hodnotu dosahovalo již v základu. Nabízí se zde ale možnost tzv. „lehkého přetočení“ motoru. Otáčky motoru jsou řízeny změnou frekvence. Aktuálně je maximální frekvence 50 Hz. Výrobce čerpadla však povoluje tuto hodnotu v rozumné míře překročit. Použitý frekvenční měnič také dovoluje vyšší hodnoty, než zmíněných 50 Hz. Motor lze však dlouhodobě provozovat na frekvencích napětí o 10 % vyšších a krátkodobě i o 20 %. Lze tedy použít cca 60 Hz (nutno odzkoušet) a zajistit si tak zvýšení průtoku na zmíněných  $600 \text{ l.min}^{-1}$ . Je třeba však podotknout, že i tato úprava má své hranice. Při překročení frekvence o výraznou mez by mohlo začít docházet naopak ke snížení účinnosti čerpadla z důvodů kavitace a zároveň by mohlo dojít k poškození celého čerpadla. Bude tedy nutné tuto úpravu experimentálně ověřit k dosažení vhodné maximální frekvence.

Export dat z pořízených zkoušek je ve formě textového souboru (formát .txt). Data neobsahují hlavičku s názvy sloupců. Jednotlivé sloupce veličin jsou od sebe odděleny středníkem či mezerou. K příjemnější práci s daty by bylo vhodné se ještě zaměřit na formát dat při jejich ukládání. Automaticky vkládat hlavičku s názvy sloupců a zejména sjednotit dělení mezi jednotlivými sloupci na jeden znak, a to buď mezeru, nebo středník. Následný export dat do statistických programů typu R, Matlab či MS Excel by byl snadnější.

S tím dále souvisí možnost širšího nastavení exportu dat přímo v ovládacím prostředí filtrační tratě. Myšleno je zejména využití klouzavého průměru (s hodnotou nastavenou uživatelem) na data již během jejich ukládání. Hodnoty měření tlaku a tlakového spádu značně oscilují okolo středních hodnot a tvoří velké „peaky“. Data se po exportu tedy



musí upravit pro přehlednost a lepší interpretaci naměřených veličin. Hustota peaků je v závislosti na zapisovací frekvenci. Při frekvenci zápisu dat  $100.s^{-1}$  lze využít klouzavého průměru z předchozích 50–100 dat. Po aplikaci tohoto nástroje jsou data čistší a je v nich lépe patrná klíčová informace, tedy měřená hodnota a její průběh v závislosti na čase. Aktuálně je nutno data upravit až následně po měření v programu pro práci s daty. Pokud půjde tento statistický nástroj implementovat již do prostředí filtrační tratě, získáme velkou časovou úsporu při následném vyhodnocování dat.

Další úpravou, kterou by bylo vhodné do budoucna udělat je možnost naprogramování zkoušky. Tento nedostatek byl zjištěn při ověřování zařízení, kdy proběhlo 15 zkoušek o shodném průběhu na různých filtračních vložkách. Nyní je třeba upravovat veškeré podmínky zkoušky ručně. Hodnota frekvence čerpadla by však šla snadno naprogramovat v závislosti na čase pomocí makra. Ovládací prostředí filtrační tratě by mohlo obsahovat jednoduchý programátor, kde se zvolí délka zkoušky a na časové ose se nastaví požadované hodnoty průtoku. Tím docílíme snadné reprodukovatelnosti měření při testování různých filtračních vložek.

Je také třeba myslet na kvalitu vody v testovací trati. Trať pracuje pouze s omezeným množstvím kapaliny (vody). Tato voda může být v testovací trati v řádů i několika měsíců. Vhodným řešením pro údržbu pracovní vody je občasné chemické čištění, avšak s ohledem na litinové funkční plochy čerpadla, či rovnou výměna pracovní náplně. V případě výměny náplně se zde nabízí možnost přidat přípojky na přívod nové vody a přípojku na odpad. K vypuštění média lze také využít čerpadlo.

## 5. ZÁVĚR

Cílem práce byl návrh, realizace a ověření funkčnosti filtrační tratě. Při návrhu konstrukce tratě byl brán zřetel na splnění několika podmínek ze strany použitých součástí a samotného procesu testování.

Prvním krokem před samotným návrhem bylo seznámení s problematikou filtrace a prostudování příslušných norem. V další části bylo nutné definovat požadavky na filtrační trať vycházejících z myšleného testování samotných filtrů. Následně byly vypracovány koncepty možných řešení a na základě hodnocení byl vybrán nejvhodnější koncept. Tyto dva kroky určily stěžejní části filtrační tratě jako je výkon čerpadla, velikost rezervoáru, množství a typ jednotlivých čidel. Po stanovení těchto součástí proběhl samotný konstrukční návrh tratě zaměřený zejména na rozmístění jednotlivých součástí, způsobu vedení potrubí či volbě vhodných materiálů.

Po optimalizaci konstrukčního návrhu proběhla samotná realizace. Byly nakoupeny jednotlivé součásti, zhotovilo se potrubí a došlo ke kompletaci sestavy včetně náročné elektroinstalace splňující potřebné normy. V tomto kroku byla také vyvinuta aplikace na základě definovaných požadavků pro obsluhu a zápis dat filtrační tratě.

Posledním krokem byl test tratě, respektive ověřování její funkčnosti. Byly vyzkoušeny mezní hodnoty, kterých lze na trati dosáhnout, a naměřily se charakteristiky samotné filtrační tratě. Nad rámec zadání bylo testováno 15 ks filtračních vložek o různých materiálech. Výsledky měření jsou statisticky zpracovány a jsou z nich vyvozeny závěry.

Výstupem práce je zkonstruovaná a funkční trať pro testování filtrů vodního charakteru umožňující simulovat podmínky, v kterých bude následně testovaný filtr aplikován.

Trať byla konstruována s ohledem na maximální variabilitu a následnou možnost případných modifikací. Některé typy na modifikaci jsou popsány v předchozí kapitole „Diskuze“. Využití filtrační tratě je předpokládáno v dlouhém období. Následný provoz tedy ještě může vygenerovat nové možnosti modifikace filtrační tratě, a tak nadále zvyšovat její funkční hodnotu.

## 6. LITERATURA

- [1] HRŮZA, Jakub. *Filtration, Textilie pro průmyslové aplikace* - přednášky. Liberec: TUL.
- [2] ČSN EN 12255-16. *Filtrace odpadních vod*. Praha: Český normalizační institut, 2006.
- [3] Drum Filter Aquaculture. *AKVA group - your partner in aquaculture technology* [online]. Copyright © 2000 [cit. 21.04.2017]. Dostupné z: <http://www.akvagroup.com/products/land-based-aquaculture/mechanical-filters->
- [4] Products – Nordic Water. *Nordic Water* [online]. Copyright © 2018 Nordic Water Products. All rights reserved. [cit. 26.04.2017]. Dostupné z: <http://www.nordicwater.com/products/>
- [5] NOVOTNÁ, Alena. *Filtrační materiály pro vodárenskou filtraci. Bakalářská práce*. Brno: VUT Brno, 2013.
- [6] ČSN 11 9535. *Stanovení charakteristik filtrace a jímatelynosti vícenásobným průtokem*. Praha: Český normalizační institut, 1991.
- [7] Stac SRL pumps. *Centrifugal normalized pumps series N = Catalogue*. [online] [cit. 20.9.2017]. Dostupné z: [http://stac-ts.com/en/product\\_page.php?id=72&x=198&y=144](http://stac-ts.com/en/product_page.php?id=72&x=198&y=144)
- [8] Globe valve / with handwheel / shut-off / for hot water – BOA-Compact – KSB. *DirectIndustry - The online industrial exhibition: sensors, automation, motors, pumps, materials handling, packaging, etc.* [online]. Copyright © 2018 [cit. 26.09.2017]. Dostupné z: <http://www.directindustry.com/prod/ksb/product-7053-431546.html>
- [9] FV-Plast a.s. *Výrobce plastových rozvodů vody FV – Plast a.s.* [online]. Copyright ©P [cit. 26.09.2017]. Dostupné z: [http://www.fv-plast.cz/media/cache/file/df/fv-katalog-2016\\_cz\\_aktualni-verze1.pdf](http://www.fv-plast.cz/media/cache/file/df/fv-katalog-2016_cz_aktualni-verze1.pdf)
- [10] Indukční průtokoměry FG4000 | LIMESA meters. *LIMESA meters* [online]. Copyright © 2015 LIMESA meters s.r.o. [cit. 2.10.2017]. Dostupné z: <http://limesa.cz/indukcni-prutokomery/prutokomer-fg4000-magnetoindukcniprutokomer.html>

- [11] Regmet.cz. *Snímače teploty odporové, převodníky, termostaty, nástěnné ovladače* [online]. Copyright © [cit. 11.10.2017]. Dostupné z: [http://www.regmet.cz/download/kataloglisty/P13U\\_I.pdf](http://www.regmet.cz/download/kataloglisty/P13U_I.pdf)
- [12] DPL • Thermokon. *HOME OF SENSOR TECHNOLOGY • Thermokon* [online]. Copyright © 2018 [cit. 13.10.2017]. Dostupné z: <https://www.thermokon.de/en/products/pressure-velocity/fluids/dpl/>
- [13] Rukávcové filtry – Alfico s.r.o. - výroba ocelových konstrukcí. *Alfico s.r.o. - výroba ocelových konstrukcí* [online]. Copyright © Copyright 2012, Alfico s.r.o. [cit. 15.10.2017]. Dostupné z: <http://www.alfico.cz/prumyslova-filtrace/filtrace-kapalin/rukavcove-filtry>
- [14] Materiálový list PP. *Akplast.cz.* [Online]. [cit. 16.10.2017]. Dostupné z: [http://www.akplast.cz/admin/files/ck/files/TechData/PP-30GF\\_mat\\_list.pdf](http://www.akplast.cz/admin/files/ck/files/TechData/PP-30GF_mat_list.pdf)
- [15] Produktübersicht 1/2017 DE - *katalog alu profilů Maytec*, 2017.

## **7. SEZNAM PŘÍLOH**

01 – DP.2018.001 Výkres sestavení (přiložen v deskách)

02 – data získaná z jednotlivých měření (obsaženo na CD, formát .txt)

## 8. SEZNAM OBRÁZKŮ

Obrázek 1- schéma povrchové filtrace [1].....	10
Obrázek 2 - schéma hloubkové filtrace [1].....	11
Obrázek 3 - schéma přímého zachytu [1] .....	12
Obrázek 4 - schéma setrvačného zachytu [1] .....	12
Obrázek 5 - schéma difúzního zachytu [1] .....	13
Obrázek 6 - schéma elektrostatického zachytu [1] .....	14
Obrázek 7 – schéma plochých filtrů [1].....	15
Obrázek 8 – schéma skládaného filtru [1] .....	15
Obrázek 9 – schéma kapsového filtru [1] .....	16
Obrázek 10 - schéma cartridge filtru [1].....	16
Obrázek 11 - schéma hadicových filtrů [1; 2] .....	17
Obrázek 12 - schéma bubnového filtru [3] .....	18
Obrázek 13 - schéma diskového filtru [4] .....	19
Obrázek 14 - schéma gravitačního způsobu .....	23
Obrázek 15 - schéma tlačení pístem .....	24
Obrázek 16 - schéma tlačení pístem za použití klikového mechanismu .....	25
Obrázek 17 - schéma čerpadla se dvěma nádržemi .....	25
Obrázek 18 - schéma čerpadla s použitím jedné nádrže .....	26
Obrázek 19 - IBC nádrž s ochrannou klecí.....	30
Obrázek 20 - rozměrové schéma čerpadla [7] .....	31
Obrázek 21 – ilustrace škrtícího ventilu KSB [8].....	32
Obrázek 22 - Limesa FG4000.....	33
Obrázek 23 - kompaktní provedení FG4000 [10].....	33
Obrázek 24 - rozměrová skica snímače teploty [11] .....	34
Obrázek 25 - rozměrová skica tlakového čidla DPL4/V .....	35
Obrázek 26 - schéma hladinoměru .....	36
Obrázek 27 - rukávcový filtr [13] .....	37
Obrázek 28 - rozměrová skica; nárys filtrační tratě.....	38
Obrázek 29 - rozměrová skica; bokorys filtrační tratě .....	39
Obrázek 30 - sestava filtrační tratě s pozicemi .....	40
Obrázek 31 - render filtrační tratě.....	41
Obrázek 32 - render filtrační tratě.....	41

Obrázek 33 - aplikace ALU profilů [15] .....	42
Obrázek 34 - elektroinstalace .....	43
Obrázek 35 - prostředí ovládání filtrační tratě .....	44
Obrázek 36 - fotografie smontované filtrační tratě před testováním .....	45
Obrázek 37 - graf testu pro ověření limitních hodnot filtrační tratě .....	47
Obrázek 38 - graf testu vlivu koše umístěného ve filtračním tělese .....	49
Obrázek 39 - rukávcový filtr (filtrační vložka) .....	53
Obrázek 40 - instalace filtrační vložky .....	53
Obrázek 41 - průběh testu; testování filtračních vložek .....	54
Obrázek 42 - testované filtry při otáčkách čerpadla $900\text{ m}^{-1}$ .....	60
Obrázek 43 - testované filtry při otáčkách čerpadla $1800\text{ m}^{-1}$ .....	60
Obrázek 44 - testované filtry při otáčkách čerpadla $3000\text{ m}^{-1}$ .....	61

## 9. SEZNAM TABULEK

Tabulka 1 - Zápis výsledků zkoušek dle ČSN 11 9535 [6] .....	21
Tabulka 2 - označení konceptů během jejich vyhodnocení .....	27
Tabulka 3 -vyhodnocení konceptů.....	27
Tabulka 4 - závěrečné vyhodnocení konceptů.....	29
Tabulka 5- parametry čerpadla .....	31
Tabulka 6 - rozměry čerpadla [7] .....	31
Tabulka 7 - kusovník sestavy.....	40
Tabulka 8 - přehled testovaných filtrů .....	46
Tabulka 9 - průběh testu pro ověření limitních hodnot .....	47
Tabulka 10- průběh zkoušky "vliv koše" .....	48
Tabulka 11 - Průtok; test vlivu koše v tělese filtru na charakteristiky .....	50
Tabulka 12 - Tlak; test vlivu koše v tělese filtru na charakteristiky.....	51
Tabulka 13 - Tlakový spád; test vlivu koše v tělese filtru na charakteristiky .....	52
Tabulka 14 - průběh zkoušky při testování filtračních vložek.....	54
Tabulka 15 - test filtrů; průtok; otáčky čerpadla $900\text{ m}^{-1}$ .....	55
Tabulka 16 - test filtrů; průtok; otáčky čerpadla $1800\text{ m}^{-1}$ .....	55
Tabulka 17 - test filtrů; průtok; otáčky čerpadla $3000\text{ m}^{-1}$ .....	56
Tabulka 18 - test filtrů; tlak; otáčky čerpadla $900\text{ m}^{-1}$ .....	56
Tabulka 19 - test filtrů; tlak; otáčky čerpadla $1800\text{ m}^{-1}$ .....	57
Tabulka 20 - test filtrů; tlak; otáčky čerpadla $3000\text{ m}^{-1}$ .....	57
Tabulka 21 - test filtrů; tlakový spád; otáčky čerpadla $900\text{ m}^{-1}$ .....	58
Tabulka 22 - test filtrů; tlakový spád; otáčky čerpadla $1800\text{ m}^{-1}$ .....	58
Tabulka 23 - test filtrů; tlakový spád; otáčky čerpadla $3000\text{ m}^{-1}$ .....	59
Tabulka 24 vyhodnocení dvou představitelů filtračních vložek.....	61
Tabulka 25 - celkové vyhodnocení vlivu filtračních vložek na měřené veličiny .....	62